

MÔNICA ACCO

**MODELAGEM DE DADOS DO SATÉLITE IKONOS II PARA
ESTIMATIVA DE MICRONUTRIENTES NA FLORESTA OMBRÓFILA
MISTA MONTANA**

CURITIBA

2004

MÔNICA ACCO

**MODELAGEM DE DADOS DO SATÉLITE IKONOS II PARA
ESTIMATIVA DE MICRONUTRIENTES NA FLORESTA OMBRÓFILA
MISTA MONTANA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais, Área de Concentração Manejo Florestal, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner

Co-Orientador: Dr. Luciano Farinha Watzlawick

C U R I T I B A

2004

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner pela orientação dessa dissertação, por sua maneira cordial, amizade e ensinamentos.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos e ao CNPq pela bolsa concedida.

Ao Co-Orientador Dr. Luciano Farinha Watzlawick e ao Prof. Dr. Henrique Koehler, pelas sugestões e amizade.

Agradeço especialmente ao amigo Emerson Schoreder pela paciência, sugestões, incentivos, ensinamentos e principalmente pela amizade.

Keillah e Vanessa amigas, companheiras, “co-orientadoras”, meu muito obrigado!

Aos colegas Anderson, Moacir, Francisca, Marcos, Pyramon, Lúcia e André pela maneira feliz que sempre convivemos, sempre dispostos a dividir seu conhecimento e pela amizade.

Aos grandes amigos Benício e Lúcia, obrigada pela força!

E, especialmente, ao meu eterno namorado, marido e amigo Éden ... por absolutamente tudo!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVOS	02
3 REVISÃO DE LITERATURA	03
3.1 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	03
3.2 BIOMASSA.....	05
3.3 SENSORIAMENTO REMOTO.....	06
3.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	11
3.5 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO.....	13
3.6 DISTRIBUIÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES.....	19
3.7 MICRONUTRIENTES.....	22
3.8 MODELAGEM AMBIENTAL.....	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
4.1.1 Localização.....	27
4.1.2 Clima.....	28
4.1.3 Solos.....	28
4.1.4 Vegetação.....	29
4.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	31
4.2.1 Produto Cartográfico e Imagens.....	31
4.2.2 Material de apoio e equipamentos utilizados.....	31
4.3 METODOLOGIA.....	34
4.3.1 Quantificação de biomassa.....	34
4.3.2 Determinação de micronutrientes na biomassa.....	35
4.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	38
5 RESULTADOS	39
5.1 QUANTIFICAÇÃO DOS MICRONUTRIENTES NA BIOMASSA.....	39
5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA OBTENÇÃO DE EQUAÇÃO AJUSTADA.....	41
5.3 GERAÇÃO DE MAPAS.....	55
5.4 QUANTIFICAÇÃO DE MICRONUTRIENTES POR ÁREA.....	50

5.5 BIODISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E ASPECTOS AMBIENTAIS.....	50
6 CONCLUSÃO.....	53
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS.....	61

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	ORDEM DE ENERGIA DECRESCENTE E COMPRIMENTO DE ONDA CRESCENTE DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	08
TABELA 2	APLICAÇÕES DAS DIFERENTES BANDAS ESPECTRAIS DISPONÍVEIS NOS SATÉLITES EXISTENTES.....	08
TABELA 3	CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE IKONOS II.....	09
TABELA 4	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COMUMENTE UTILIZADOS.....	13
TABELA 5	PROCESSOS FOTOQUÍMICOS E RESPECTIVAS RESPOSTAS ESPECTRAIS.....	16
TABELA 6	PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS MICRONUTRIENTES.....	22
TABELA 7	RELAÇÃO DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA.....	29
TABELA 8	CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM UTILIZADA.....	31
TABELA 9	COEFICIENTES DE CALIBRAÇÃO RADIOMÉTRICA DO SATÉLITE IKONOS II.....	33
TABELA 10	TEORES MÉDIOS DE MICRONUTRIENTES (MG.Kg ⁻¹) NAS FOLHAS DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA.....	36
TABELA 11	TEORES MÉDIOS DE MICRONUTRIENTES (Kg) NAS FOLHAS DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA.....	37
TABELA 12	QUANTIDADE TOTAL DE MICRONUTRIENTES PRESENTE NAS FOLHAS POR PARCELA (Kg/ha).....	39
TABELA 13	QUANTIDADE DE MICRONUTRIENTES TRANSFORMADA EM FUNÇÃO DO TAMANHO DO PIXEL POR PARCELA.....	40
TABELA 14	VALORES DE REFLECTÂNCIA.....	41
TABELA 15	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA CADA NUTRIENTE.....	43
TABELA 16	CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES POR ÁREA (KG/HA).....	56

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	MAPA FITOGEOGRÁFICO DO ESTADO DO PARANÁ.....	04
FIGURA 2	ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	07
FIGURA 3	ESTRUTURA INTERNA DE UMA FOLHA.....	13
FIGURA 4	DIAGRAMA DE CORTE TRANSVERSAL DE UMA FOLHA DE SOL E UMA DE SOMBRA.....	14
FIGURA 5	INTERÇÕES DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM A FOLHA.....	15
FIGURA 6	CURVAS DE REFLACTÂNCIA ESPECTRAL DE FOLHAS SADIAS E SENESCENTES.....	17
FIGURA 7	ASSINATURA ESPECTRAL DE UMA FOLHA SADIA.....	18
FIGURA 8	ESQUEMA DA DINÂMICA DE NUTRIENTES EM UM ECOSISTEMA FLORESTAL.....	20
FIGURA 9	LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE GENERAL CARNEIRO.....	27
FIGURA 10	INTERPRETAÇÃO VISUAL DO USO DO SOLO E LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS.....	30
FIGURA 11	ESQUEMA DA INSTALAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS.....	35
FIGURA 12	CONTEÚDO DE BORO ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA.....	45
FIGURA 13	CONTEÚDO DE COBRE ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA.....	46
FIGURA 14	CONTEÚDO DE FERRO ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA.....	47
FIGURA 15	CONTEÚDO DE MANGANÊS ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA.....	48
FIGURA 16	CONTEÚDO DE ZINCO ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA.....	49

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma metodologia utilizando imagens do satélite IKONOS II para realizar estimativas de micronutrientes na Floresta Ombrófila Mista Montana. Para o desenvolvimento desta metodologia utilizou-se de material coletado no município de General Carneiro (PR) na propriedade das Indústrias Pedro N. Pizzatto Ltda em 20 unidades amostrais primárias de 12 x 12 metros. Os materiais coletados foram separados, secos e pesados, obtendo-se, então, os teores de micronutrientes; para a seleção das bandas e índices de vegetação foi necessário o método de eliminação de variáveis “*Stepwise*” sendo a reflectância das bandas MS-1, MS-2, MS-3, MS-4, razão de bandas (MS-4/MS-3), NDVI e SAVI consideradas variáveis independentes e os teores de micronutrientes considerados como variáveis dependentes. O modelo selecionado para cada micronutriente foi baseado no grau de associação das variáveis e que melhor representassem a distribuição dos micronutrientes, possibilitando sua quantificação e mapeamento. O estudo mostrou ser possível modelar as equações que estimaram a quantidade de micronutrientes, por meio de técnicas de sensoriamento remoto.

Palavras-chave: micronutrientes, sensoriamento remoto, IKONOS II, Floresta Ombrófila Mista Montana.

ABSTRACT

The objective of the present research is to develop A methodology using images from the IKONOS II satellite in order to accomplish estimates at Ombrófila Mista Montana Forest. In order for this methodology to be develop it was used data collected on the property of Industrial Pedro N. Pizzato LTDA in General Carneiro (PR) in 20 units primaries of 12 x12 meters. The litter that had been collected was separated, dried and weighed. From that it was obtained concentrations of micronutrients. For the selection of the bands and indexes of vegetation it was necessary are elimination method of variables called Stepwise using reflectances of MS-1, MS-2, MS-3 reason of the bands (MS-4/ MS-3), NDVI and SAVI considering the independent variable and the concentrations of micronutrients as dependent variable. The selected model for each micronutrients was based on the variable association degree and what better could represent the distribution of the micronutrients. The research showed that is possible to model equations making possible the use of remote sensing techniques to estimate micronutrients from forest litter.

Key words: Remote Sensing, IKONOS II, and Mixed Ombrophilous Forest.

1 INTRODUÇÃO

A Floresta com Araucária, também denominada Floresta Ombrófila Mista (FOM), ocorria de forma contínua principalmente nos três estados do sul do Brasil. O estado do Paraná apresenta a maior extensão dessa unidade fitoecológica. Recentemente a CEMEX e CONSERVATION INTERNATIONAL (1999), em uma avaliação das regiões biologicamente mais ricas e ameaçadas do planeta, elegeu 25 regiões, dentre elas a Floresta Atlântica, onde foi incluída a Floresta com Araucária.

O atual estágio de degradação da Floresta Ombrófila Mista resulta de um processo histórico de ocupação do solo no Estado do Paraná. Durante anos houve o incentivo ao desmatamento com o objetivo de expandir a fronteira agrícola. Assim, os poucos remanescentes dessa unidade fitoecológica estão em franco processo de desaparecimento e o que resta encontra-se bastante fragmentado. (FUPEF, MMA, 2004).

O estudo do bioma florestal é importante para conhecer os aspectos funcionais da floresta, principalmente em ambientes heterogêneos, como é o caso da FOM, e o sensoriamento remoto é uma maneira se poder trabalhar com grandes áreas obtendo informações de um objeto ou alvo sem que haja contato físico com o mesmo de forma rápida e confiável.

No que se refere a metodologia para este trabalho, procurou estabelecer uma relação entre dados coletados em campo, pesos dos componentes das árvores, neste caso folhas, com dados sensoriados provenientes do satélite IKONOS II, convertendo os dados sensoriados para dados dimensionais (manipuláveis), com o objetivo de obter equações que melhor estimem a quantidade de micronutrientes, possibilitando a obtenção de informações das mais variadas bem como a geração de mapas de quantidade de micronutrientes na Floresta Ombrófila Mista Monta (FOMM).

Uma vez estabelecida a relação mais adequada, a equação ajustada é teoricamente utilizável para a estimativa de micronutrientes de qualquer comunidade similar, reforçando a idéia de que com o uso do sensoriamento remoto, método relativamente menos trabalhoso que não causa danos ao ecossistema florestal, seja possível preservar a FOMM considerada um ecossistema de alta produção de biomassa e um grande reservatório de nutrientes minerais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para estimar, por meio da biomassa e de dados do satélite IKONOS II, a quantidade de micronutrientes por meio da modelagem desses dados.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Utilizar dados de satélite e dados de campo e ajustar os modelos, gerando equações alométricas;
- b) Utilizar imagem IKONOS II, para geração de mapas de diferentes classes de quantidades de micronutrientes;
- c) Avaliar a eficácia da metodologia com a utilização de dados de satélites de alta resolução na quantificação de micronutrientes.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

O bioma FOM, originalmente distribuía-se em cerca de 200.000 km², ocorrendo no Paraná em 40% da superfície, Santa Catarina em 31%, Rio Grande do Sul em uma área de 25% e em manchas esparsas no sul de São Paulo (3%), estendendo-se até o sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%), (CARVALHO, 1994).

Segundo estudos mais recentes (FUPEF, 2001), a Floresta de Araucária encontra-se em três estágios de sucessão, sendo o estágio inicial totalizando 1.164.425ha; o intermediário em 1.200.168ha e o estágio mais avançado e com predomínio de pinheiro no dossel, abrangendo uma área de 141.892ha. Essas áreas correspondem a 14,04%, 14,47% e 1,71% da área de Floresta Ombrófila Mista que por sua vez, representa 30,18% do Estado do Paraná e que segundo SANQUETTA et al. (2001), constitui um bioma de notáveis atributos ecológicos pelos exuberância de seus recursos naturais e de grande importância sócio-econômica.

A Região da FOM (Floresta de Araucária) é exclusiva do Planalto Meridional Brasileiro, com disjunções em áreas elevadas das serras do Mar e Mantiqueira. Ocorre sob um clima ombrófilo, com temperatura média se 18°C, mas com alguns meses bastante frios, ou seja, 3 a 6 meses com médias inferiores aos 15°C (MAACK, 1968).

A composição florística deste tipo de vegetação sugere em face da altitude e da latitude do Planalto Meridional, uma ocupação recente a partir de refúgios alto-montanhosos, apresentando quatro formações diferentes:

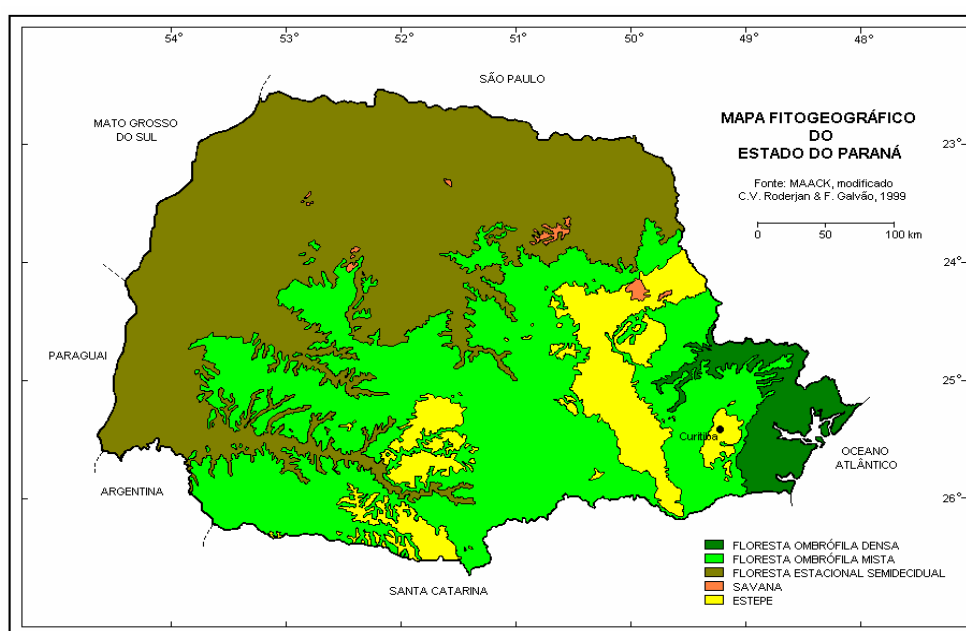
- Aluvial: em terraços antigos situados ao longo dos flúvios.
- Submontana: de 50 até mais ou menos 400m de altitude.
- Montana: de 400 até mais ou menos 1000m de atitude.
- Alto Montana: quando situadas acima de 1000m de altitude.

Segundo MAACK (1968), poucas são as formações florestais brasileiras que têm sua fisionomia tão bem caracterizada pela presença de uma espécie vegetal como a Floresta Ombrófila Mista. Neste caso, é o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) que, em função de seus aspectos morfológicos (copa, folhagem, tronco, etc.) e da posição sociológica que ocupa, facilita grandemente a definição da área de ocorrência desta formação.

Para LEITE (1990), a ocorrência de araucária possui o seu ponto mais setentrional na Serra do Caparaó, local aonde chegou em períodos climáticos favoráveis. Em altitudes inferiores a 800 metros, retrata-se um estágio de substituição intensa, onde em geral a araucária não mantém seu ciclo natural de desenvolvimento a qual constitui o único representante da flora de origem temperada.

A *Araucaria angustifolia* de acordo com KLEIN (1960), é a árvore mais alta da Floresta Ombrófila Mista, cujas copas umbeliformes, verde-escuras, formam uma cobertura arbórea muito característica, distinguindo-se facilmente à distância. Todo contingente florístico desta formação florestal compõe-se de espécies características das regiões vizinhas, tanto da Floresta Estacional quanto da Floresta Ombrófila Densa apresentadas na Figura 1, onde se pode observar que a Floresta Ombrófila Mista é a segunda maior área quantificada no mapa do estado do Paraná.

FIGURA 1 – MAPA FITOGEOGRÁFICO DO ESTADO DO PARANÁ



Fonte: MAACK, modificado por RODERJAN e GALVÃO, (1999)

MAACK (1981), cita como espécies importantes em associação com a araucária a imbuía (*Ocotea porosa*), a aquifoliácea erva-mate (*Ilex paraguaiensis*). Entre o grande número de pteridófitas destaca-se o xaxim-bugiu ou xaxim-gordo (*Dicksonia sellowiana*) e a samambaia-açu (*Hemitelia setosa*). Da família das lauráceas ocorrem várias espécies de canelas como, por exemplo: *Nectandra* sp. Nees, *Persea venosa* Nees, *Ocotea pretiosa* Nees (sassafrás). Leguminosas como jacarandá (*Dalbergia brasiliensis*), caviúna (*Machaerium* sp.) e o monjoleiro (*Acacia polyphylla*) são comuns, como também as meliáceas *Cedrela fissilis* Vell. E *Cedrela* sp. (cedro-rosa). Representantes das mirtáceas

são: a guabiroba-legítima (*Britoa sellowiana* Berg.) e a guabiroba-da-serra (*Campomanesia xanthocarpa* Berg.). Outra conífera é o pinheiro-bravo com duas espécies, *Podocarpus lambertii* Kl. e *Podocarpus sellowii* Klotzsch. Outra espécie com ampla distribuição nas florestas de araucária é o pau-marfim ou pau-liso (*Balfourodendron riedelianum* Engl.) e a bombacácea paineira (*Chorisia speciosa* St. Hil.).

LEITE e KLEIN (1990), têm a opinião de que a araucária e outras espécies de origem temperada, encontram-se em situação desfavorável nas altitudes inferiores a 800m, isto tanto pela destruição pelo homem como pela incompatibilidade com o clima. A araucária não mantém intacto o seu ciclo de vida nesta situação. Encontram-se somente indivíduos em estado senil, indicando o começo de um processo de substituição pela flora de origem tropical.

Na área de estudo ocorre uma diversidade maior de condições no que se refere à estrutura da floresta, visto que se encontram situações distintas de exploração, tipos de solo e microclimas. De modo geral, predominam as araucárias no dossel, com as folhosas em um estrato inferior. Porém, ocorrem áreas onde o domínio é da imbuia (*Ocotea porosa*) ou sapopema (*Sloanea lasiocoma*). Entre as espécies componentes dos estratos inferiores destacam-se as canelas (*Nectandra* spp., *Ocotea* spp.), *Ilex paraguariensis*, *Prunus brasiliensis*, *Lithraea brasiliensis*, *Sapium glandulatum*, *Clethra scabra*, *Jacaranda puberula* e diversas Mirtáceas, entre outras de menor destaque. SANQUETTA (1998).

3.2 BIOMASSA

Segundo ODUM (1971), biomassa é o peso de matéria seca por unidade de área. É a matéria orgânica armazenada em um determinado ecossistema, pois especifica o valor numérico dos componentes deste, além de ser fundamental nos estudos de nutrientes, conversão e armazenamento de energia. (GOLLEY et al., 1978); CALDEIRA (1998) e CALDEIRA (2003).

O acúmulo de biomassa é diferente em cada local onde é quantificada (SCHUMACHER, 1995). Nesse sentido, existem alguns fatores que afetam a biomassa e a produtividade: a idade do povoamento, espécie e procedência, nutrição, altitude, umidade do solo e espaçamento, práticas silviculturais e outros. (RUSSO, 1983; SCHUMACHER, 1995; CALDEIRA, 1998; WATZALAWICK, 2003; CALDEIRA, 2003).

A FOM, segundo SANCHEZ (1976), pode ter atingido o seu clímax, pois conforme o autor, as Florestas Tropicais Naturais, podem acumular, neste estágio de sucessão área de 200 a 400 Mg.ha⁻¹ de biomassa.

Estudo realizado por CALDEIRA (2003), na FOMM, quantificou uma biomassa total de (280,73 Mg.ha⁻¹), sendo 75,0% para a biomassa acima do solo das árvores com DAP

$\leq 10,0$ cm, 7,8% para biomassa acima do solo das indivíduos com DAP $< 10,0$ cm, 14,4% para biomassa abaixo do solo (raízes) e 2,8 para serapilheira acumulada.

Para CAMPOS (1991), o procedimento básico para a medição da biomassa, consiste na seleção das árvores para constituírem a amostra, nas medições e pesagens realizadas nas árvores e na identificação das relações entre variáveis medidas. Normalmente, a biomassa arbórea é medida a partir de seus componentes. A separação e especificação destes componentes variam de acordo com o tipo de povoamento e dos objetivos a serem alcançados. Esta variação pode incluir ou excluir alguns componentes ou detalhar outros.

O armazenamento de nutrientes nos compartimentos da biomassa arbórea é função da distribuição de biomassa e teores de nutrientes dentro dos vários tecidos e órgãos. À medida que a árvore envelhece, ocorrem diferenças nos teores de nutrientes em cada componente da árvore. A idade das folhas afeta a distribuição de nutrientes para outros órgãos (MALAVOLTA, 1980).

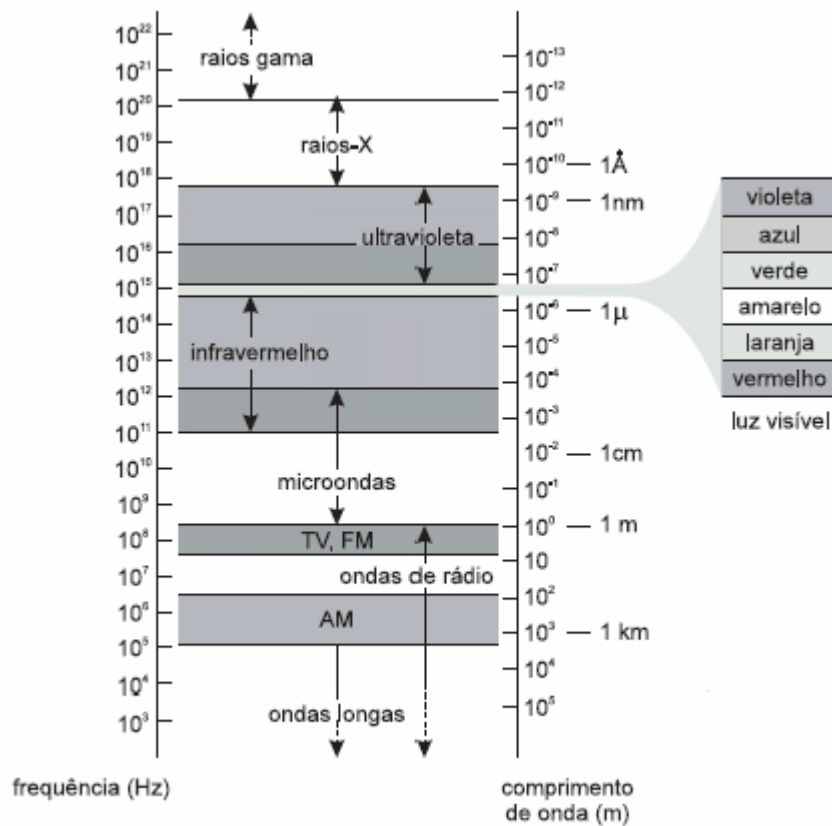
3.3 SENSORIAMENTO REMOTO

Conforme SANTOS (1988), o sensoriamento remoto é uma ciência revolucionária para estudos da natureza da Terra, seus recursos, problemas sendo suas aplicações muito diversas. MEDEIROS (1986), complementa afirmando que o sensoriamento remoto pode ser usado para distinguir tipologias florestais e elaborar mapas de uso da terra por meio da coleta, do registro e da análise de dados sobre a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida por estes objetos.

Este mesmo autor comenta que o sinal - radiância (L) de um objeto detectado por um sensor, posicionado verticalmente acima da atmosfera, possui dois componentes: o primeiro refere-se a radiância do objeto (L_s) que chega ao sensor com a interferência dos efeitos atmosféricos (sinal útil); o segundo somado ao primeiro, refere-se somente às interações da radiação eletromagnética com a atmosfera, e é chamado radiância de trajetória (L_a), que é somado ao ruído (R) inerente ao sistema sensor (sinal não desejado), expressa a radiação total que é dado pela seguinte equação: $L = L_s + L_a + R$.

Espectro eletromagnético (Figura 2) é o conjunto dos diferentes tipos de comprimentos de onda, e é composto de raios-X, ultravioleta, azul, verde, vermelho, infravermelho, microondas, onda de rádio, etc. Não se conhece até hoje todos os possíveis tipos de Regiões do Espectro Eletromagnético (REM) existentes.

FIGURA 2 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



Fonte: http://www.dsr.inpe.br/vcsr/html/APOSTILA_PDF/CAP1_ECMoraes.pdf

O espectro eletromagnético é dividido em regiões ou intervalos espectrais os quais podem ser identificados pelos seus comprimentos de onda, medidos em sistemas métricos (nanômetros, micrômetros, centímetros), mostrados na Tabela 1. Essas faixas espectrais, presentes na Tabela 2, são as principais regiões espectrais usadas no sensoriamento remoto e suas aplicações.

TABELA 1 - ORDEM DE ENERGIA DECRESCENTE E COMPRIMENTO DE ONDA CRESCENTE DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

REGIÃO DO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO		COMPRIMENTO DE ONDA
Raios gama		menos que 0,1 Å (Angstrom)
Raios X		0,1 a 200 Å
Raios ultravioleta		200 a 4000 Å
Luz visível		4000 a 7000 Å
Infravermelho	Infravermelho próximo	7000 A a 10 microns
	Infravermelho médio	10 microns a 60 microns
	Infravermelho longínquo	60 microns a 300 microns
Ondas de Rádio	Sub milimétrico	300 microns a 1 milímetro
	Rádio milimétrico	1 milímetro a 1 centímetro
	Microondas rádio	1 milímetro a vários centímetros

Fonte: http://www.on.br/revista_ed_anterior

TABELA 2 - APLICAÇÕES DAS DIFERENTES BANDAS ESPECTRAIS DISPONÍVEIS NOS SATÉLITES EXISTENTES

BANDA ESPECTRAL (m)	APLICAÇÃO
Azul (0,45 – 0,50)	Penetração d'água, uso do solo, características da vegetação, sedimentos
Verde (0,50 – 0,60)	Reflectância verde da vegetação saudável
Vermelho (0,60 – 0,70)	Discriminação da vegetação devido à absorção da clorofila vermelha
Pancromática (0,50 – 0,75)	Mapeamento, uso do solo, pares estereofônicos
Infravermelho reflectivo (0,75 – 0,90)	Biomassa, identificações solo-colheita, limites da terra-água
Infravermelho-médio (1,5 – 1,75)	Plantas túrgidas, secas, nuvens, discriminação da neve/gelo
Infravermelho-médio (2,0 – 2,35)	Geologia, formação de rocha
Infravermelho-termal (10 – 12,5)	Temperatura relativa, descargas térmicas, classificação da vegetação, estudo da umidade, inércia térmica
Microondas – ondas curtas (0,1 – 5 cm)	Cobertura da neve, profundidade, índice de água da vegetação
Microondas – ondas longas (5 – 24 cm)	O derretimento da neve, umidade do solo, limites da água-terra, penetrante na vegetação

Fonte: SCHULTZ (2000)

O Satélite IKONOS II possui 1m de resolução no modo Pancromático (PAN) oferecendo uma fina resolução espacial. Permite discriminar objetos de 1m² de área ou maior. Tem a possibilidade de combinação de imagens adquiridas no modo PANCROMÁTICO, preto e branco (P&B), com 1m de resolução, com imagens multiespectrais coloridas de 4m de resolução, para a geração de imagens coloridas com 1m de resolução, combinando então as vantagens dos dois tipos de imagens, cujas características são apresentadas na Tabela 3.

A aquisição das imagens com profundidade radiométrica de 11 bits (2048 níveis de cinza) aumenta poder de contraste e de discriminação das imagens, inclusive nas áreas de sombra. Antes do IKONOS, as imagens de satélites eram geralmente adquiridas com 8 bits (1 byte) ou 256 níveis de cinza. As imagens geradas pelo IKONOS II possuem grande resolução espacial (discriminar alvos de maneira fina) aliada a grande precisão cartográfica.

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE IKONOS II

Altitude	680 km
Inclinação	98,1°
Velocidade	7km / s
Sentido da Órbita	Descendente
Duração da Órbita	98 minutos
Tipo de Órbita	Sol-síncrona
Resolução Espacial	Pancromática: 1m / Multiespectral: 4m
Bandas espectrais	Pan 0,45 – 0,90 μ Azul 0,45 – 0,52 μ Verde 0,52 – 0,60 μ Vermelho 0,63 – 0,69 μ Infravermelho próximo 0,76 – 0,90 μ
Imageamento	13km na vertical (cenas de 13km x 13km)
Capacidade de Aquisição de imagens	Faixas de 11km x 100km até 11km x 1000km Mosaicos de até 12.000km ² 20.000km ² de área imageada numa passagem
Frequência de Revisita	2,9 dias no modo Pancromático 1,5 dias no modo Multiespectral Esses valores valem para latitude de +/- 40° A frequência de revisita para latitudes maiores será menor, e maior para as latitudes perto do Equador

Fonte: <http://www.engesat.com.br/satelites/ikonos.htm>

A modelagem com utilização de imagem IKONOS II reduz a quantidade de dados a serem levantados em campo, diminuindo o tempo de execução e os custos (TEDESCO e CENTENO, 2003). Segundo esses autores, a utilização de imagem IKONOS II permitiu o desenvolvimento de um modelo para estimativa de profundidade. Os dados foram plotados para uma análise de profundidade *versus* níveis digitais e foram então divididos em faixas de profundidades para então se estimar os parâmetros de regressão. O método mostrou-se eficiente, permitindo estimativas de profundidades até 5m, com erros inferiores a 1,00m satisfazendo as normas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

Segundo OKIDA et al. (2003), o IKONOS foi o primeiro satélite comercial com alta resolução. Seus dados permitem várias aplicações, principalmente voltadas ao mapeamento e monitoramento de detalhes tais como os de urbanismo, agricultura, floresta, mineração, telecomunicação, transportes dentre outros.

CAVASSIM Jr. e CENTENO (2003), compararam dois métodos de classificação utilizando imagens IKONOS. Pelo método "pixel a pixel" (máxima verossimilhança), a imagem classificada ficou com ruídos e pelo método da classificação orientado ao objeto (análise por região/segmentação da imagem), as classes mostraram-se mais homogêneas. Isto ocorreu devido ao fato da segmentação realizada na imagem ter agrupado os pixels mais correlacionados.

Esses mesmos autores realizaram um trabalho de ortorretificação para imagens IKONOS II com objetivo de averiguar a exatidão do produto ortorretificado em relação aos dados pré-existentes e concluíram que a imagem IKONOS II retificada é excelente opção para se trabalhar em grandes áreas e com grande detalhes, como por exemplo, cavas de mineração, mapeamento urbanístico e cadastral e monitoramento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa.

Com o uso de um Modelo Digital de Elevação (DEM), é possível gerar orto-imagens IKONOS a uma precisão geométrica de 0,6m. Tais imagens são tão exatas quanto os produtos *Precision* e de custo muito inferior (GANAS et al., 2002 ; TOUTIN e CHENG, 2000).

Quando comparadas as imagens IKONOS com outras de satélites convencionais tais como o TM, SPOT, CASI e etc. FRANKLIN et al. (2001), acharam valores de textura de segunda ordem, trabalhando com banda pancromática IKONOS II, onde aumentou efetivamente a separação entre nove grupos de idade de floresta da espécie *Douglas-fir*.

A informação espectral de uma cena pode ser representada por uma imagem espectral, onde cada "pixel" tem as coordenadas espaciais x, y e a coordenada espectral L, que representa a radiância de um alvo no intervalo de comprimento de onda de uma banda espectral. Cada "pixel" de uma banda possui uma correspondência espacial com um outro "pixel", em todas as outras bandas, ou seja, para uma imagem de K bandas, existem K

níveis de cinza associados a cada "pixel", sendo um para cada banda espectral (CURRAN, 1995). O conjunto de características espectrais de um "pixel" é denotado pelo termo "atributos espectrais".

O sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica apresentam-se como ferramentas indispensáveis nos estudos da dinâmica de mudanças da paisagem, oferecendo subsídios aos estudos do ciclo do carbono. Na região do visível (400 a 700 μm), a presença de pigmentos clorofilados é responsável pela maior absorção da radiação nas porções azul e vermelho, sendo menos absorvida na porção do verde, ou seja, plantas verdes e saudáveis refletem pouca energia nos comprimentos de onda correspondentes ao azul e vermelho. No infravermelho próximo (760 a 1300 μm), a estrutura interna das folhas exerce grande influência sobre o espectro, nessa faixa a radiação é fortemente espalhada sofrendo múltiplas reflexões e transmissões ao incidir na vegetação, de tal forma que quanto maior for o Índice de Área Foliar (IAF) maior será a energia refletida (JENSEN, 1996; HOFFER, 1978).

A quantidade de energia refletida pelo dossel da espécie, nos comprimentos de onda correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo, é significativamente correlacionada com a atividade fotossintética das mesmas. Plantas afetadas por doenças geralmente apresentam crescimento reduzido e sintomas de amarelecimento, que proporcionam contraste na resposta espectral em relação às saudáveis (HOLBEN et al., 1980).

3.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Há uma variedade de índices de vegetação que têm sido desenvolvidos para auxiliar no monitoramento da vegetação. A maior parte está baseada em interações entre a vegetação e a energia eletromagnética nos comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho próximo. A reflectância na região do vermelho (cerca de 0,6 – 0,7 μ) é baixa devida à absorção pelos pigmentos das folhas (principalmente clorofila). A região do infravermelho (aproximadamente 0,8 – 0,9 μ), entretanto mostra caracteristicamente alta reflectância por causa do espalhamento por parte da estrutura das células das folhas. Um índice de vegetação muito simples pode ser obtido dividindo a medida de reflectância no infravermelho pela reflectância no vermelho. Áreas de vegetação densa terão como resultado um valor de índice alto, (IDRISI – Manual do usuário).

Um dos primeiros índices da vegetação bem sucedido baseados na razão de bandas foi desenvolvido por ROUSE et al. (1974). Os autores computaram a diferença normalizada de valores do brilho de MSS7 e de MSS5 para monitorar a vegetação, denominada Índice da Diferença Normalizada da Vegetação (NDVI). DEERING et al. (1975), adicionaram 0,5 ao

NDVI e aplicaram raiz quadrada, produzindo o Índice da Vegetação Transformada (TVI). Algoritmos similares usados MSS6 e MSS5 foram usados também: $TVI6 = \sqrt{NDVI6 + 0,5}$. JENSEN (1996).

Os índices de vegetação são combinações aritméticas simples baseadas no contraste entre as respostas espectrais da vegetação na região do vermelho e do infravermelho e podem ser entendidos como razões matemáticas entre bandas. Para LILLESAND e KIEFER (1994), o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NVDI), proposto por ROUSE et al. (1974), serve para separar vegetação verde do solo usando imagens LANDSAT MSS. Esse índice expressa a diferença entre as bandas do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma de suas bandas. É o índice de vegetação mais utilizado. Estas bandas foram escolhidas porque é exatamente nestas regiões do espectro eletromagnético que a vegetação apresenta maior diferença de reflectância (elevada reflectância no infravermelho e baixa reflectância no vermelho). Este índice produz escalas de medidas lineares e problemas com divisão por zero são minimizadas. A escala de medida tem a propriedade de variar de -1 a +1, com o zero indicando valor sem vegetação. Assim, valores zero representam áreas não vegetadas. A utilização deste índice justifica-se devido a sua contribuição na discriminação de unidades de vegetação, pois o NDVI (índice de vegetação de diferença normalizada) realça a vegetação na imagem.

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

Onde: NIR = Infravermelho próximo

R = Vermelho

Por meio dos dados obtidos em leituras radiométricas, são calculados os índices de vegetação, que são parâmetros aplicados à identificação da tipologia florestal. Para ASSUNÇÃO e FORMAGGIO (1989), quando a cobertura de solo é completa, as folhas são elementos dominantes nas plantas, quanto ao aspecto das influências sobre as propriedades espectrais de dosséis vegetais.

Os índices de vegetação existentes (Tabela 4) podem ser agrupados em duas grandes classes: índices na forma de razão, como por exemplo: RVI (*Ratio Vegetation Index*) - Razão do Índice de Vegetação; NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) Índice de Vegetação Ajustado para o Solo; TVI (*Transformed Vegetation Index*) Índice de Vegetação Transformado; TTVI (*Thiam's Transformed Vegetation Index*) Índice de Vegetação Transformada de Thiam, apresentados na Tabela 4 e índices caracterizados pela distância ortogonal (não utilizados neste trabalho).

Na literatura são encontrados mais de 50 índices de vegetação, entretanto, os dois mais comumente usados são SAVI e NDVI.

TABELA 4 – ÍNDICES DE VEGETAÇÃO COMUMENTE UTILIZADOS

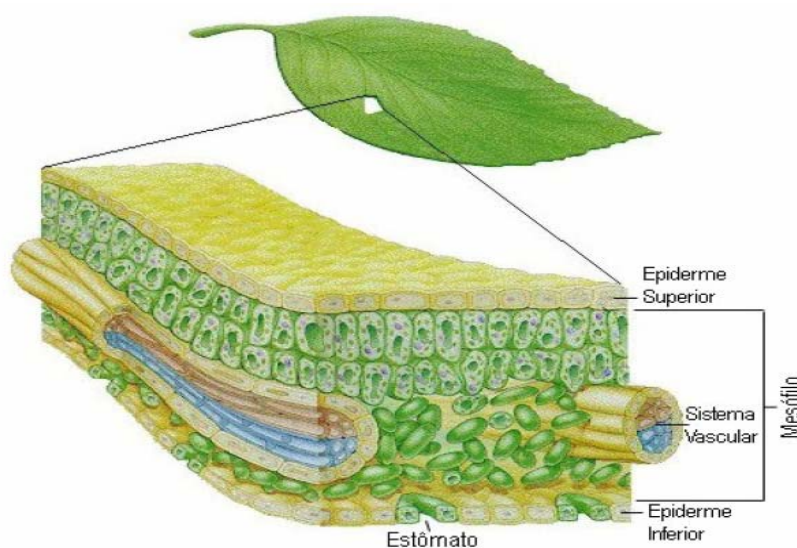
ÍNDICE	REFERÊNCIA	DEFINIÇÃO*
RVI	PERSON & MILLER (1972)	IVP / V
NDVI	ROUSE (1974)	$(IVP - V) / (IVP + V)$
TVI	DEERING (1975)	$(NDVI + 0,5)^{1/2}$
TTVI	PERRY & LAUTENSCHLAGER (1981)	$ABS (NDVI + 0,5)^{1/2}$
SAVI	HUETE (1988)	$(IVP - V) / (IVP + V + L) * (1 + L)$

* V, IVP refere-se a reflectância na faixa espectral do visível e do vermelho próximo, respectivamente e L é uma constante para minimizar a influência do solo.

3.5 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

Nos vegetais as folhas desempenham funções muito importantes, porque são basicamente nelas que se processam todas as reações fotoquímicas, além das reações vitais para a vida da planta, como respiração e transpiração, (MOREIRA, 2001). Num corte transversal de uma folha pode-se observar uma série de camadas mais ou menos paralelas que são: a epiderme superior e a inferior, o estômato e o mesófilo que compreende o sistema vascular, (Figura 3).

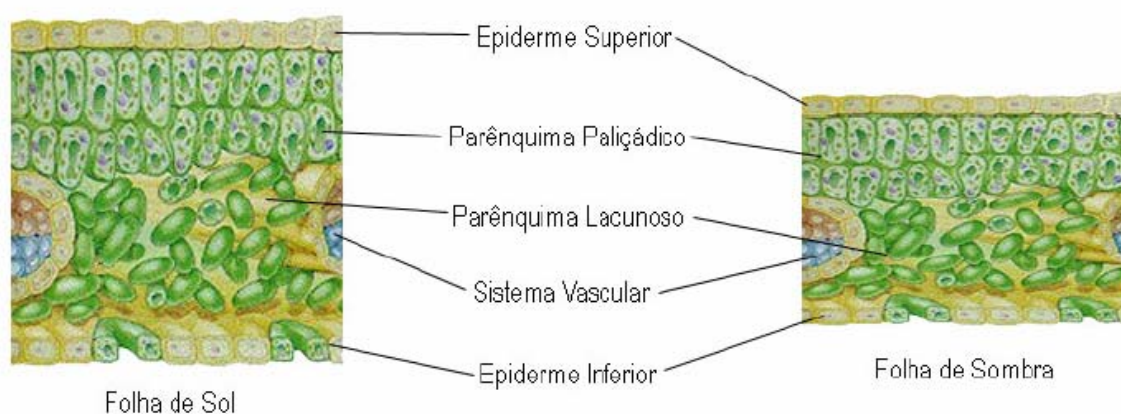
FIGURA 3 - ESTRUTURA INTERNA DE UMA FOLHA



Fonte: <http://www.wellesley.edu/Biology/Courses/108/108.html>

O tamanho e a espessura de uma folha jovem podem ser influenciados pela duração e pelo comprimento de onda da luz e, porém, as diferenças na intensidade de luz é que são responsáveis pela variação no tamanho da folha. Dependendo da espécie, quanto maior a intensidade de luz, menor e menos espessa será a folha. Existem dois tipos de folhas encontradas numa planta, diferenciadas pela intensidade de energia eletromagnética incidentes, que são: a folha de sol e a folha de sombra, (MOREIRA, 2001). A espessura interna da folha no sol e na sombra são mostradas na Figura 4.

FIGURA 4 – DIAGRAMA DE CORTE TRANSVERSAL DE UMA FOLHA DE SOL E UMA DE SOMBRA



Fonte: <http://www.wellesley.edu/Biology/Courses/108/108.html>

GATES (1965), fez uma análise da interação da energia radiante com a folha, e comprovou que as mudanças na estrutura celular do mesófilo esponjoso (da folha) afetam a refletância na faixa do infravermelho próximo, pois a resposta espectral é o resultado da interação desta radiação incidente com o mesófilo. Isto permite que uma pequena quantidade de luz seja refletida pela cutícula da folha e uma grande quantidade seja transmitida ao mesófilo esponjoso, onde os raios freqüentemente encontram as paredes das células e são refletidas em função das dimensões dos ângulos incidentes.

O mecanismo de absorção e espalhamento também deve ser considerado quando se trabalha com dados sensoriados, pois a atmosfera influi na intensidade e na composição espectral da radiação que, oriunda do alvo, atinge o sistema sensor. A radiação captada pelos sensores é uma somatória da energia refletida e emitida pelos alvos integrantes da área compreendida pelo campo de visada do sensor.

Dados interpretados por Sensoriamento Remoto em cobertura florestal necessitam um compreensível conhecimento de fatores que afetam as propriedades ópticas. Esses fatores podem ser externos (elevação do sol, orientação e inclinação, condições atmosféricas) ou internos. As propriedades ópticas da cobertura florestal dependem das

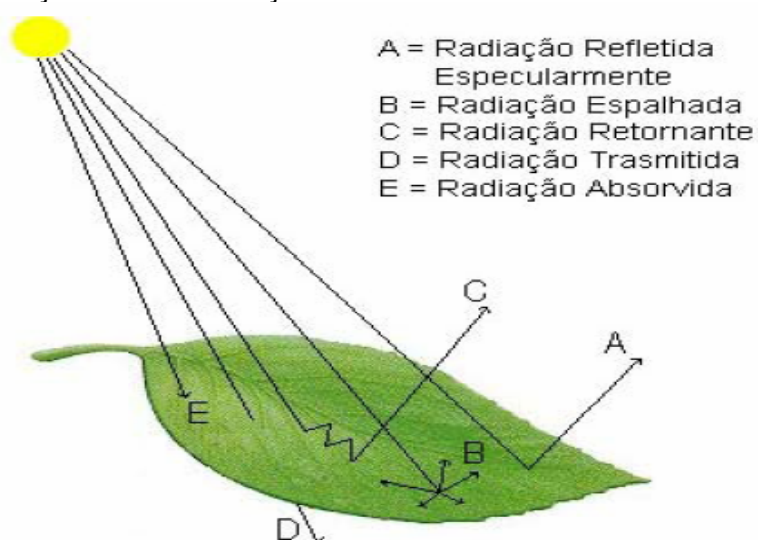
características espectrais das árvores (folhas, galhos) e de material de constituição primária do solo e vegetação. A refletância do espectro de uma árvore depende das propriedades ópticas de folhas e casca (MOREIRA, 2001).

A radiação solar que chega na superfície da Terra - radiação global, (MOREIRA, 2001), ao atingir a planta interage com a mesma e resulta em três frações: uma parte dessa radiação é *absorvida* pelos pigmentos contidos na folha, que pode chegar a 50% do total que chega até a planta, outra parte é *refletida* pelas folhas, fenômeno denominado de reflexão e uma terceira parte sofre o processo de *transmissão*, através das camadas de folhas que compõem a copa e através das camadas que constituem a folha, como a cutícula, o parênquima lacunoso e o paliçádico.

A radiação eletromagnética que chega a superfície terrestre e incide com uma folha, segundo VALERIANO (1988), pode sofrer um dos seguintes processos (Figura 5):

- A. Ser refletida especularmente pela cutícula;
- B. Ser espalhada pelos pêlos;
- C. Penetrar no interior da folha de modo difuso a partir da primeira camada da célula e retornar por este mesmo lado;
- D. Penetrar na folha e, também difusamente, atravessá-la e emergir pelo lado oposto;
- E. Ser absorvida pela folha.

FIGURA 5 – INTERAÇÕES DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM A FOLHA



Fonte: <http://www.wellesley.edu/Biology/Courses/108/108.html>

Nem toda a radiação incidente na folha tem efeito sobre ela. MOREIRA (2001), explica que as radiações eletromagnéticas cujos comprimentos de ondas são capazes de induzir uma resposta fisiológica nas plantas, isto é, são capazes de provocar uma reação

fotoquímica, são denominadas de Radiação Fisiologicamente Ativa (RFA). A Tabela 5 mostra as reações fotoquímicas, os respectivos fotorreceptores, os picos de absorção e as bandas espectrais em que a radiação é absorvida. VALERIANO (1988), explica que os processos de reflexão especular e de espalhamento, vistos anteriormente, não envolvem interações dependentes do comprimento de onda da radiação eletromagnética. Esta retorna integralmente por estes processos, levando assim poucas informações a cerca da folha. O processo pelo qual a energia penetra na folha e sai pelo mesmo lado, trata da reflexão difusa pela folha, objeto principal do estudo do comportamento espectral da vegetação, pois uma vez que esta radiação que retorna sofre espalhamentos múltiplos no interior da célula, ela carrega consigo informações sobre a estrutura e o estado da folha.

TABELA 5 –PROCESSOS FOTOQUÍMICOS E RESPECTIVAS RESPOSTAS ESPECTRAIS

PROCESSO	PICO DO ESPECTO (μm)	BANDA ESPECTRAL (μm)
Síntese de clorofila	Azul 445	360 – 470
	Vermelho 650	570 – 670
Fotossíntese	Azul: 435	350 – 530
	Vermelho: 675	600 – 700
	Vermelho: 650	630 – 690
	Vermelho distante: 710	690 – 730
Reações no azul	UV: 370	350 – 500
	Azul: 445 – 475	
Reações no Vermelho	Reversão pelo vermelho distante: 710 e 730	680 – 780

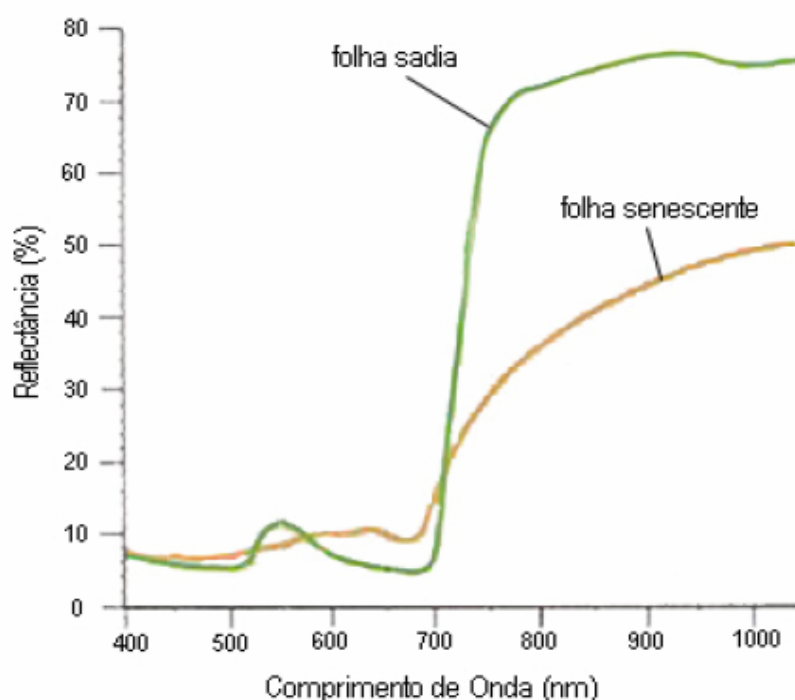
Fonte: MOREIRA (2001)

NOVO (1995), realizou uma análise sobre a relação entre reflectância da folha sadia, decompondo-a em três regiões espectrais, em função dos fatores que condicionam seu comportamento.

- 0,7 μm a reflectância é baixa ($<$ que 0,2), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta em 0,48 μm (carotenóides) e em 0,62 μm (clorofila). Em 0,56 μm há um pequeno aumento de reflectância. É a reflectância pela percepção da cor verde da vegetação;
- De 0,7 μm a 1,3 μm tem-se a região dominada pela alta reflectância da vegetação, devido à interferência da estrutura celular;
- Entre 1,3 μm e 2,5 μm a reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água das folhas.

A fotossíntese está intimamente relacionada à quantidade de radiação eletromagnética absorvida na região dos espectros azul e vermelho (comprimento de onda 430 e 660 nm). A reflectância de uma folha em seu estado normal ou fotossinteticamente ativa é maior do que uma folha no estado de senescência, mostrado na Figura 6, (MOREIRA, 2001).

FIGURA 6 – CURVAS DE REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE FOLHAS SADIAS E SENESCENTES



Fonte: <http://rangeview.arizona.edu/intro.html>

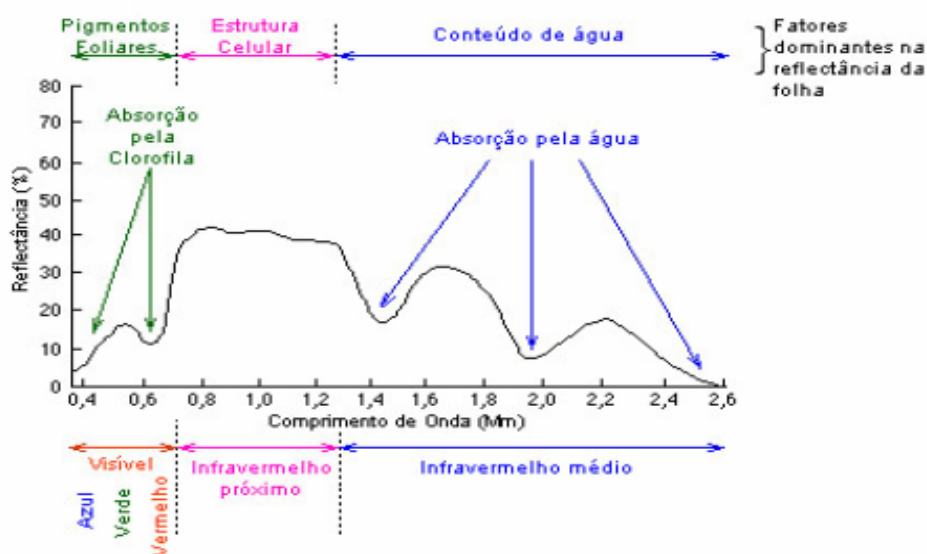
A folha de uma árvore é verde porque ela reflete a luz verde do visível, irradiada pelo sol e absorve grande parte da radiação dos comprimentos de onda da luz azul e vermelho, a fim de transformar energia eletromagnética e produzir a fotossíntese. Diferentes materiais existentes na natureza exibem distintos comportamentos de reflectância, porque cada um absorverá ou refletirá maiores ou menores quantidades de radiação eletromagnética em função das suas diferentes constituições físicas, químicas e biológicas, (MENESES, 2001).

Segundo VALERIANO (1988), além da própria complexidade da composição físico-química e biológica de materiais como solo, rochas, vegetação e água, há outros que condicionam os valores das medidas das reflectâncias dos objetos por sensores imageados. Esses fatores irão influenciar e, não raro, tornar complexa a análise e a interpretação das imagens. Facilmente, pode-se mencionar três fatores principais:

- A largura e a posição no espectro das bandas do sensor imageado determina o grau em que pequenas diferenças da reflectância dos materiais podem ser detectadas nas imagens;
- A radiação refletida da superfície dos materiais do terreno, como também da atmosfera é integrada pelo sensor e equivalente, em imageamento orbital, as áreas relativamente grandes da ordem de centenas de metros quadrados; um pixel de 30 x 30 m equivalente à área de 900 m², como por exemplo, no sensor Landsat;
- Nem todas as superfícies dos materiais dos materiais são refletoras difusas, ou seja, a intensidade da radiação refletida pode variar.

O comportamento da refletância ao longo do espectro eletromagnético gera uma curva que, por integrar todas as interações que ocorrem entre a radiação eletromagnética e a folha possui uma forma própria e característica daquela folha no estado em que ela foi observada. Tal curva é denominada assinatura espectral por esta especificidade conforme a Figura 7.

FIGURA 7 – ASSINATURA ESPECTRAL DE UMA FOLHA SADIA



Fonte: <http://www.ucalgary.ca/UofC/faculties/SS/GEOG/Virtual/Remote%20Sensing/rsveg.htm>

As propriedades ópticas das folhas, segundo MENESES (2001), ficam assim definidas:

Visível (400 - 700nm) - nesta faixa, as folhas têm baixa refletância (menos que 10%). Uma parte de incidência da radiação é absorvida por pigmentos das folhas tais como a clorofila, xantofila, carotenóide e antocianina. A parte responsável pela absorção do pigmento das folhas é a clorofila a qual exibe absorção em duas bandas: azul e vermelho. Infravermelho

próximo (700 - 1300 μ m) - nesta faixa espectral os pigmentos das folhas e a celulose da parede das células são transparentes. Assim, a absorvância das folhas é muito baixa (menos que 10%) e a radiação que entra é igualmente refletida ou transmitida. A refletância atinge cerca de 50% no platô ou no pico do infravermelho, o qual depende da estrutura interna das folhas. O nível aumenta com o número de camadas de células, o tamanho das células e orientação destas na parede. Infravermelho médio (1300 - 2500 μ m) - nesta faixa espectral, as propriedades ópticas das folhas são principalmente afetadas pelo seu conteúdo de água. Acima de 1300nm, a forte absorção de água das bandas em 1450, 1950 e 2500 μ m produz uma refletância mínima das folhas. Mas, entre essas bandas, a absorção de água ainda existe e afeta as propriedades ópticas das folhas. Os níveis das duas máximas relativas em 1650 e 2200 μ m, portanto variam de acordo com o conteúdo de água da folha.

Segundo GUYOT (1990), interpretar dados detectados por sensores remotos em dosséis de floresta exige um conhecimento adequado dos fatores que afetam suas propriedades ópticas. Estes fatores podem ser externos ou internos. Os cinco fatores externos considerados são: tamanho da área imageada, orientação e inclinação da linha central da vista, elevação do sol, nebulosidade e velocidade de vento. Já os fatores internos podem também afetar a refletância da floresta: orientação (para florestas artificiais novas), propriedades ópticas do fundo (solo), e geometria do dossel. As propriedades ópticas de dosséis de floresta dependem das características espectrais das árvores (folhas), solo e de vegetação subjacente. O espectro da refletância da vegetação depende das propriedades ópticas das folhas e da obscuridade.

Quando se pretende utilizar o sensoriamento remoto para obter informações a respeito da cobertura vegetal de uma região da superfície terrestre, é preciso levar em consideração a interação da energia solar com a comunidade de plantas. Em comunidades heterogêneas, o dossel vegetativo está envolvido diretamente com as interações da energia solar e é caracterizado pelos seus componentes, sua organização e sua estrutura que se dá, principalmente, através dos pigmentos contidos nas folhas, (MOREIRA, 2001).

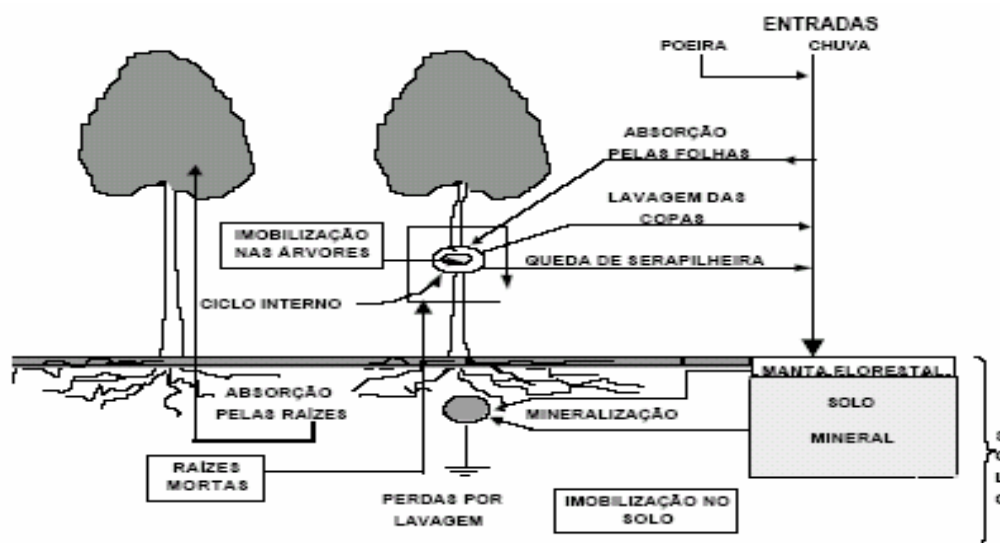
3.6 DISTRIBUIÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES

A movimentação global dos elementos químicos ocorre continuamente na biosfera. Parte destes elementos é reconhecida como nutrientes e circulam nos ecossistemas, sendo transferidos dos seres vivos para o ambiente físico e vice-versa, constituindo um ciclo.

O ciclo geoquímico caracteriza-se pelas trocas de elementos minerais entre um determinado ecossistema e seus componentes externos. As principais fontes de entrada de

nutrientes no ecossistema florestal são, por exemplo: a poeira, a chuva, o intemperismo das rochas, a fixação biológica do nitrogênio e a aplicação de fertilizantes e resíduos orgânicos urbanos ou agroindustriais. Neste ciclo, as perdas de nutrientes para fora do ecossistema são devidas a processos de erosão e lixiviação, ação do fogo, processos de denitrificação e principalmente à colheita florestal, conforme Figura 8. (POGGIANI e SCHUMACHER, 1997).

FIGURA 8 – ESQUEMA DA DINÂMICA DE NUTRIENTES EM UM ECOSISTEMA FLORESTAL



Fonte: POGGIANI et al. (2004)

A ciclagem de nutrientes em florestas pode ser analisada por meio da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes estratos e a quantificação das taxas de nutrientes que se movimentam entre seus compartimentos. Por exemplo, podem ser considerados, como compartimentos da floresta: a biomassa aérea das árvores, a manta florestal (serapilheira acumulada sobre o solo), a biomassa das raízes, o solo etc. (POGGIANI e SCHUMACHER, 2000).

Conforme esses mesmos autores, os nutrientes podem reciclar por diversos caminhos entre os demais componentes do ecossistema como, por exemplo, entre a parte aérea das árvores e a manta florestal, via deposição de folhas, ramos, frutos etc. Por sua vez, devido aos processos de decomposição e lixiviação da serapilheira, os nutrientes podem ser carreados para o solo e novamente absorvidos pelo sistema radicular das plantas.

O transporte de nutrientes dentro da planta se inicia quando os minerais atingem o xilema na raiz e caminham de forma ascendente para que ocorra sua distribuição. Os minerais passam do xilema para o floema através do câmbio, permitindo assim que parte dos minerais fique retida ou desvie-se para que sejam totalmente levados para a corrente

respiratória. A partir do momento em que o nutriente entra para o floema ele estará livre para circular em todas as direções. A chegada dos minerais até as folhas não faz com que a circulação termine, eles estão sempre em movimento dentro da planta. A mobilidade dos elementos dentro do floema é a seguinte: $N > K > Na > P > Cl > S > Zn > Cu > Mn > Fe > Mo > Mg$; podendo ocorrer diferenças consideráveis entre os teores de nutrientes nos tecidos das diferentes espécies florestais e algumas árvores podem ser consideradas menos exigentes no que outras quanto à retenção dos nutrientes (MALAVOLTA, 1979; CALDEIRA, 2003).

Segundo MALAVOLTA (1979), o esquema do fornecimento de nutrientes pelo solo, sua absorção e transporte na planta é:

- 1) O elemento X contido na matéria orgânica ou em minerais primários do solo passa para a superfície de outros minerais (argilas, geralmente) pelo processo de intemperismo;
- 2) Os microrganismos (principalmente bactérias e fungos) decompõem a matéria orgânica (= mineralização) liberando nutrientes que passam para a solução do solo, ou seja, água contendo sais dissolvidos;
- 3) Na solução do solo juntam-se nutrientes destacados da fase sólida aos oriundos da mineralização da matéria orgânica;
- 4) Os nutrientes entram em contato com a raiz e são absorvidos, nela permanecendo, em parte;
- 5) O sistema de vasos condutores transporta nutrientes para a parte aérea da planta.

Com o aumento da idade a absorção de nutrientes e a taxa de acúmulo diminuem, devido à redução do próprio crescimento e também dos nutrientes disponíveis no solo. Passada a idade juvenil, o tronco torna-se o componente da árvore que acumulou maiores quantidades de nutrientes. O acúmulo de nutrientes no tronco estaria relacionado com a idade da planta, com as propriedades químicas do solo e principalmente com as características genéticas da árvore, (SCHUMACHER, 1995; CALDEIRA, 1998; 2003).

Estudos realizados por VITOUSEK e SANFORD (1986), em diferentes sítios de uma floresta tropical úmida mostraram que os teores e distribuições de nutrientes variam entre os sítios, devido a fertilidade do solo. Utilizando os mesmos sítios, estes autores coletaram dados da folha, mas encontraram maiores teores de nutrientes em outros componentes da vegetação para eles, os dados de teores de nutrientes são mais marcantes para a madeira e raízes do que para as folhas. Dificilmente pode-se avaliar os teores de nutrientes entre autores diferentes, pois definem componentes da vegetação diferentemente.

Em povoamento de acácia-negra (*Acacia Mearnsii* De Wild.), verificou-se que cerca de 43,76% dos micronutrientes acumulam-se nas folhas, portanto, na copa (folhas e galhos

vivos e mortos) e 65,86% do total de micronutrientes se acumularam na biomassa acima do solo (CALDEIRA, et al. 2003).

Dentre os fatores que podem influenciar os resultados das análises foliares, alguns podem ser facilmente identificados, como por exemplo, época de amostragem e idade do material amostrado. BELOTTE e SILVA (2000), observaram teores de nutrientes mais alto nas árvores mais jovens, que segundo SILVA (1996), as folhas do ápice das copas apresentam as maiores concentrações de nutrientes.

Cu, Zn, Mn, Fe são considerados elementos de mobilidade variável, apresentando sintomas de deficiência nas folhas velhas refletindo elevada taxa de translocação enquanto que, sintomas de deficiência nas folhas novas podem indicar que o nutriente não esteja sendo translocado eficientemente para os tecidos em formação, (REIS e BARROS, 1990).

3.7 MICRONUTRIENTES

Segundo MALAVOLTA (1979), a separação entre macro e micronutrientes obedece a razões apenas quantitativas, sendo errado pensar que os macronutrientes sejam mais importantes que os micronutrientes (Tabela 6), enquanto que a falta de qualquer um deles pode limitar o crescimento e a produção.

TABELA 6 - PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS MICRONUTRIENTES

NUTRIENTE	FUNÇÕES
B (Boro)	Transporte de carboidratos Coordenação com fenóis
Cu (Cobre)	Enzimas Fotossíntese
Fe (Ferro)	Grupo ativo em enzimas Transportadores de elétrons
Mn (Manganês)	Fotossíntese Metabolismo de ácidos orgânicos
Zn (Zinco)	Enzimas

Fonte: MALAVOLTA (1996)

Os micronutrientes que pertencem à lista dos elementos essenciais devem satisfazer o critério indireto de essencialidade. Tal critério é um guia para a demonstração da essencialidade de um elemento qualquer e se desdobra em três passos:

- 1) Na ausência do elemento a planta não completa o seu ciclo de vida, morrendo antes;

- 2) O elemento não pode ser substituído por nenhum outro, por mais parecido que seja e,
- 3) O elemento em questão deve afetar diretamente a vida da planta em vez de, com sua presença, simplesmente modificar as condições físicas, químicas ou biológicas do meio, desfavoráveis ao vegetal.

3.8 MODELAGEM AMBIENTAL

Segundo SOARES (1998), a arte de se construir modelos é conhecida como *modelagem*, termo que se refere ao processo de pesquisa que leva à geração do modelo (representação) de um sistema. Este processo se desenvolve pela definição de um conjunto de hipóteses ou predições, que poderão ser comparadas com medidas do mundo real. Dependendo da concordância entre o observado e o resultado gerado, o modelo será aceito, rejeitado ou modificado de alguma maneira, para novamente ser testado.

Cada componente de um sistema tem um conjunto de propriedades ou estados, que são chamados de variáveis de estado, por exemplo: número, tamanho, massa, cor, idade e preço. Variáveis de estado de fora do sistema são conhecidas como variáveis exógenas e aquelas internas ao sistema como endógenas, (HUGGET, 1993). Portanto, a relação entre as variáveis de estado podem ser expressas verbalmente, estatisticamente ou matematicamente. De um modo geral pode ser compreendido como sendo qualquer representação simplificada da realidade ou de um aspecto do mundo real que surja como de interesse do pesquisador, que possibilite reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução (CHRISTOFOLETTI, 2002).

HAGGET e CHORLEY (1975), definem que modelo é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade.

Os modelos matemáticos segundo KRUMBEIN e GRAIBYLL (1965), são abstrações no sentido de substituir objetos, forças, eventos, por uma expressão que contém variáveis, parâmetros e constantes matemáticas.

De acordo com STEYAERT (1993), os modelos matemáticos utilizam-se de sistemas de equações na construção do modelo e podem ser classificados em determinísticos ou estocástico-prababilísticos (estatísticos).

Os modelos de dinâmica estocástico-prababilísticos utilizam variáveis aleatórias segundo uma lei imutável, mas que depende de fatores aleatórios ou de acaso (ABLER et al., 1971).

Um modelo pode ser ainda considerado como descritivo, quando tem por objetivo apenas o entendimento da estrutura do sistema. Eles constituem, por assim dizer, uma vitrine da realidade sem que se possa atuar sobre ela. (NOVAES, 1982).

Modelo de desenho experimental constitui na modelagem de sistemas ambientais envolvendo o reconhecimento de que, dentro de determinada amplitude dos dados de observação, existem certas partes significativas dos sistemas que podem ser identificadas e analisadas pelo emprego de um desenho experimental adequado. De modo geral, predominam os procedimentos e técnicas estatísticas em sua formulação. As generalizações estatísticas envolvem somente o uso de regressões simples, múltiplas ou tridimensionais. O modelo experimental é construído com referência a algum outro modelo conceitual sobre a natureza do problema. Para essa finalidade, coletam-se os dados considerados relevantes às suas características geométricas e dinâmicas, produzindo-se uma matriz de dados, onde é analisada por meio de técnicas de regressão, por exemplo, para produzir um sistema variável simples, no qual as correlações identificadas envolvem a direção e a intensidade da casualidade presumida. Nos modelos de regressão, todos os coeficientes podem ser variabilizados para otimizar a eficiência. (CHRISTOFOLETTI, 2002).

Os modelos numéricos propiciam a melhor abordagem para analisar a complexa interação do sistema Terra, e para reduzir as incertezas na previsão, tornando-se um importante instrumento para analisar as características e investigar as mudanças nos sistemas ambientais, (IPGB, 1992).

Os modelos nunca podem substituir as observações e os experimentos de laboratório, mas podem aumentar em muito a sua eficiência por meio de diversas maneiras. Qualquer programa de pesquisa começa com uma ou mais hipóteses para serem testadas ou comparadas uma com cada outra. Essas proposições necessariamente formam um modelo que a pesquisa está verificando. A fim de explicitar o modelo e formalizá-lo, há necessidade de previsões provisórias que usualmente auxiliam na programação do experimento. CHRISTOFOLETTI (2002).

Segundo o autor acima, a escolha de um modelo apropriado como sendo parte de um projeto de pesquisa deve sempre estar estreitamente engrenada com as necessidades da pesquisa planejada. O modelo usado deve estar relacionado com as técnicas e variáveis que serão mensuradas, de modo que poderão intercambiar dados e previsões de maneira significativa.

CHORLEY e KENNEDY (1971), afirmam que em uma relação possível entre os dados parelhados coletados sobre duas variáveis (X ; Y), o cálculo do coeficiente de

correlação constitui um procedimento para mensurar a possível relação, e os seus valores oscilam entre +1,0 a -1,0. Os valores próximos a +1,0 ou a -1,0 indicam uma correlação muito alta e os valores próximos a zero indicam correlação muito baixa ou nula. Os valores positivos expressam correlações diretas, enquanto os negativos denotam correlações inversas.

A análise da correlação geralmente é empregada em conjunto com a técnica de regressão. Quando as observações feitas sobre duas variáveis são plotadas em um gráfico, se os seus pontos tendem a se estabelecer em uma linha reta pode-se dizer que há uma regressão linear. Se uma linha reta pode ser traçada para resumir a tendência entre elas, torna-se possível dizer, (CHORLEY e KENNEDY, 1971):

- a) a força da associação pode ser avaliada pelo julgamento de como os pontos estão próximos na linha. A correlação entre as variáveis é alta quando os pontos estão muito próximos da linha e baixa quando há uma dispersão muito grande, e a linha não representa nenhuma tendência; e
- b) a posição da linha indica qual o tipo de relação existente entre as variáveis, isto é, como uma mudança em uma variável poderá ocasionar uma esperada mudança na outra. Dessa maneira, a análise de regressão é o procedimento para decidir exatamente qual é a linha melhor ajustada para expressar um conjunto particular de pontos.

Se o coeficiente de correlação fornece a medida de como a linha de regressão melhor se ajusta aos dados coletados, o coeficiente de regressão (b) é aquele que expressa a natureza e a sensibilidade da relação. A medida que o valor do coeficiente de regressão (b) se torna mais alto, maior é a mudança esperada em Y em função decorrente de uma mudança em X.

Para HAGGETT e CHORLEY (1975), as principais características dos modelos são:

1. Seletividade: implica numa atitude altamente seletiva quanto às informações, examinando o contexto e a relevância significativa das variáveis discernidas e a ordenação da prioridade em função dos valores concebidos para integrá-las;
2. Estruturação: salienta os aspectos selecionados da realidade que são explorados em termos de suas conexões. Neste sentido, o modelo procura representar as relações propiciadas na dinâmica dos processos, ou na correlação das variáveis;
3. Enunciativo: onde o delineamento da estrutura mostra a existência de determinado padrão, na qual os fenômenos são considerados em termos de relação sistêmica;
4. Simplicidade: a estruturação do modelo baseada na seletividade das variáveis indica que são diferentes da realidade, uma expressão aproximada dessa realidade;
5. Analógicos: os modelos são analogias, porque são diferentes do mundo real e mostrando uma maneira aproximada de se compreendê-lo;

6. Reaplicabilidade: isto significa que o modelo não se apresenta apenas como descritivo de um caso, mas possibilita que seja usado para outros casos da mesma categoria.

Para ANSELIN e GETIS (1993), a modelagem como procedimento técnico da abordagem teórica visa atender requisitos envolvidos nas diretrizes metodológicas da pesquisa científica. Os objetivos mais comuns da modelagem são a comunicação de conceitos e a previsão em curto prazo, permitindo responder e prever ou comparar previsões de alternativas como sendo um instrumento de planejamento. A Modelagem de sistemas ambientais abrange a obtenção e análise dos dados georreferenciados, interligando-se a quatro funções básicas: entrada de dados, armazenagem, recuperação e manejo dos bancos de dados e apresentação dos resultados.

Os produtos das análises devem ser mapeáveis, pois os sistemas de informação geográfica são tecnologias altamente visuais. Como os resultados da análise espacial devem ser disponibilizados sob forma gráfica e mapeável, o produto não deve ser simplesmente um conjunto de valores estatísticos ou de parâmetros para um modelo. A característica da visualização é importante na análise espacial, levando ao paradigma da análise espacial exploratória (BATTY, 1993).

JAKERMAMN et al. (1993), focaliza os conceitos e princípios para a modelagem de sistemas ambientais e salienta como tais procedimentos são relevantes para as ciências da natureza. A preocupação consiste em delinear as técnicas e abordagens aplicáveis à modelagem de sistemas ambientais, nas perspectivas do diagnóstico, da análise, da simulação e do prognóstico.

É necessário conhecer a princípio, certas variáveis cuja natureza é estabelecida a partir da teoria que substanciou a construção do modelo. Tendo em vista que um modelo é uma representação de uma realidade específica, pode-se então utilizar essa situação de referência para ajustar suas variáveis para que os resultados obtidos aproximem-se ao máximo dos valores observados. Este processo recebe o nome de calibração. (NOVAES, 1982). Os valores das variáveis, obtidos da calibração, passam então a constituir parâmetros fixos incorporados ao modelo.

A natureza digital das imagens possibilita o emprego de algoritmos computacionais para o realce e classificação de padrões, facilitando o mapeamento de grandes extensões de um modo rápido e objetivo, o que faz com que essa tecnologia represente uma importante fonte de dados para o desenvolvimento, refinamento e calibração de vários tipos de modelos, (SOARES, 1998).

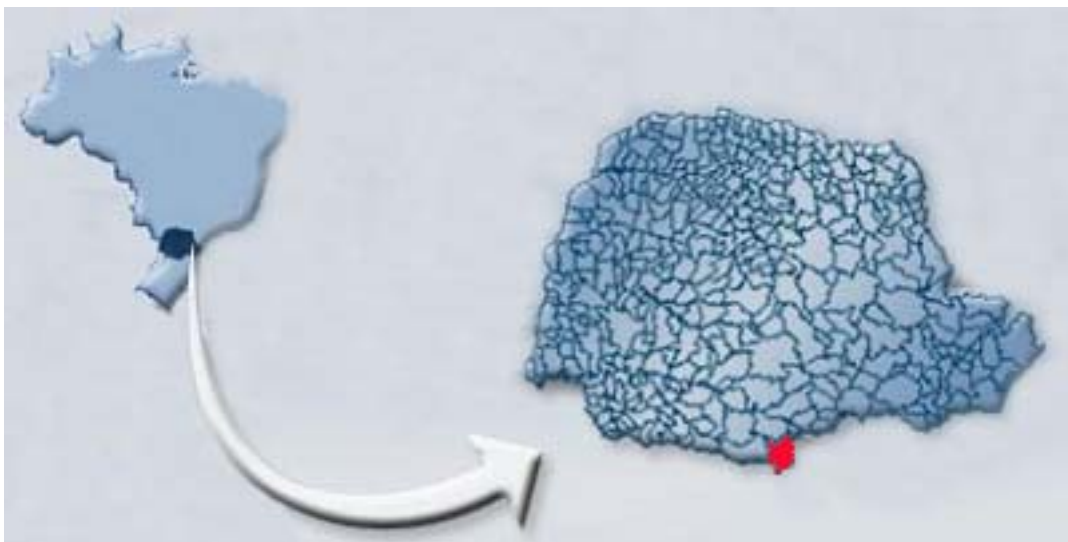
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização

A área de estudo localiza-se na Região Centro Sul do Estado do Paraná, no município de General Carneiro (Figura 9), entre as coordenadas 26°20'35" e 26°26'13" Lat. S, e 51°19'49" e 51°25'29" Long. W, de propriedade das Indústrias Pedro N. Pizzatto Ltda, possuindo área total de 4.210,75 ha.

FIGURA 9 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE GENERAL CARNEIRO



Fonte: http://www.pr.gov.br/portals/portal/mapas/localizacao_parana.php modificado por ACCO (2004)

Segundo PIZZATTO (1998), citado por YAMAJI (2001), a área da floresta juntamente com as áreas de Reserva Legal submetidas a Planos de Manejo Florestal são de 2.719 ha, o que representa 64,57% da área total das propriedades. As Áreas de Preservação Permanente representam 72 ha, equivalente a 1,71% das áreas. Os povoamentos de *Pinus* sp., representam uma área de 1.278 ha, correspondentes a 30,56% do total das áreas. Os restantes 133 ha, ou seja, 3,16% da área total são representados por outras áreas como estradas, cursos d'água, edificações, etc. A paisagem da área de estudo é o resultado das atividades florestais que se iniciaram na década de trinta.

4.1.2 Clima

Segundo a classificação sistemática de Köppen, a área de estudo apresenta uma tipologia climática do tipo Cfb (clima subtropical úmido – mesotérmico), (AYOADE, 1998), onde:

C – representa os meses mais frios com temperaturas médias variando entre -3°C e 18°C , com o mês mais moderadamente quente apresentando temperaturas médias acima de 10°C .

f – relaciona-se à distribuição da precipitação pluviométrica, indicando uma situação que não apresenta nenhuma estação seca, úmida o ano todo podendo relacionar-se com tipos climáticos A, C, D.

b – está ligado às características de temperatura, apresentado verões moderadamente quentes, tendo o mês mais quente temperatura média inferior a 22°C .

4.1.3 Solos

A área em estudo é composta por quatro tipos de solos: os Cambissolos, associação de solos Litólicos com Terra Rocha Estruturada, associação de Terra Bruna Estruturada com Cambissolo e associação solo Litólicos com Cambissolo, que conforme EMBRAPA (1984):

- Os Cambissolos compreendem solos minerais não hidromórficos com horizonte B câmbico e com altos teores de silte. Os solos do tipo Cambissolo Álico Tb A, são solos formados a partir dos resíduos provenientes da intemperização de rochas magmáticas referidas ao pré-cambriano;
- Os solos Litólicos são solos minerais, pouco desenvolvidos, onde são formados a partir de diferentes materiais de origem, sendo que no Estado do Paraná, são desenvolvidos principalmente de rochas eruptivas básicas e intermediárias, rochas ígneas ácidas, folhelhos, filitos e arenitos;
- Terra Bruna Estruturada é formada por solos não hidromórficos com horizontes B textural, argiloso com baixa CTC (Capacidade de Troca de Cátions), ricos em sesquióxidos de Fe e Al e derivados de rocha do derrame do Trapp. São solos com predomínio de minerais pesados e teores relativamente naturais, aliados à presença de Al trocável em níveis bastante elevados.

4.1.4 Vegetação

Conforme a classificação proposta por IBGE (1992), a formação florestal original da área de estudo é classificada como Floresta Ombrófila Mista Montana. Contudo, devida às diversas atividades antrópicas a vegetação encontra-se em diferentes estágios sucessionais. A Tabela 7 relaciona as espécies encontradas na área de estudo bem como o estágio de sucessão em que se encontra.

TABELA 7 - RELAÇÃO DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA

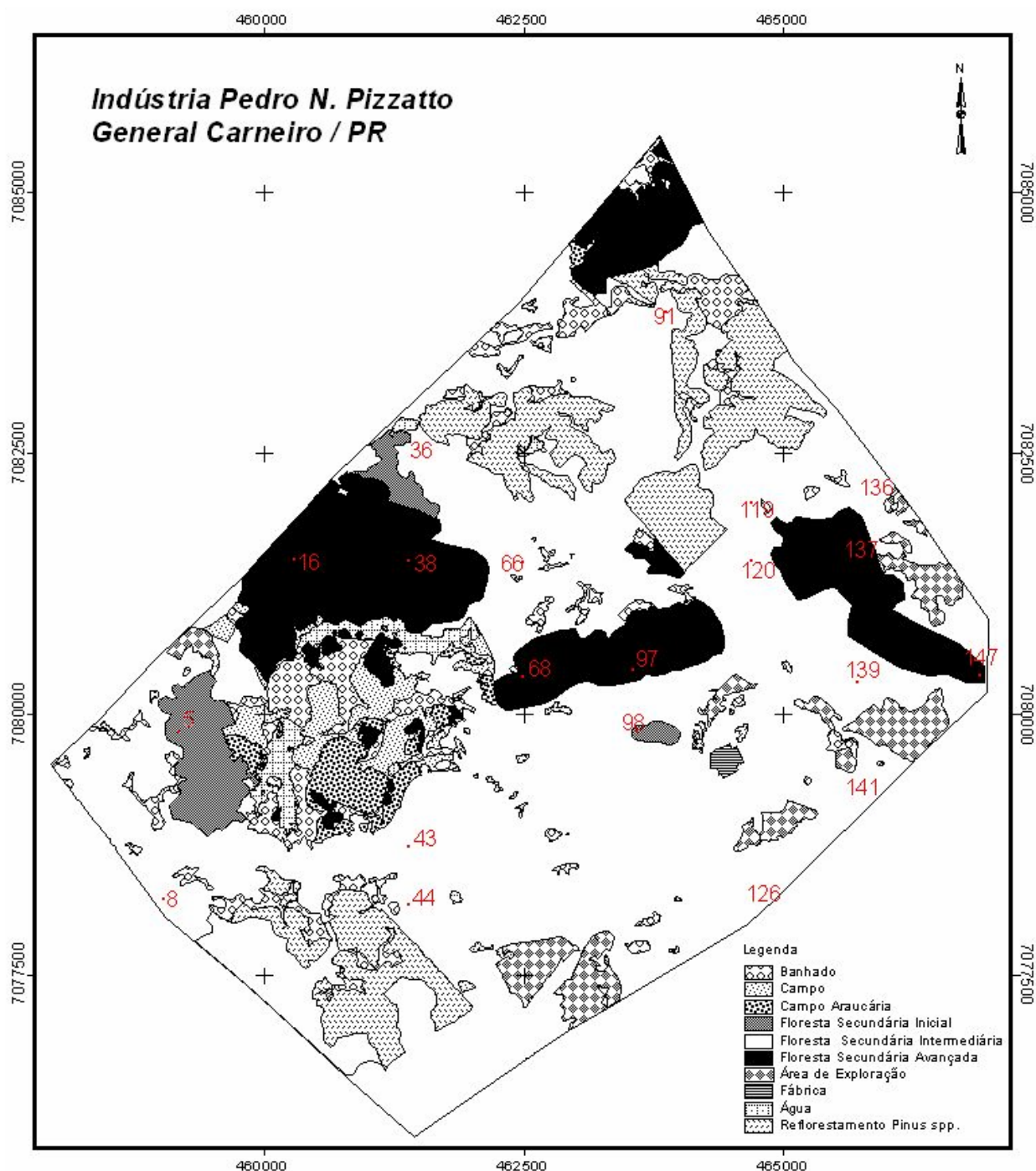
FAMÍLIA	NOME CIENTÍFICO	NOME COMUM	A*	B*	C*
Anarcadiaceae	<i>Lithraea brasiliensis</i> Marchand	Bugreiro		■	■
Anarcadiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Aroeira	■	■	
Aquifoliaceae	<i>Ilex dumosa</i> Reissek	Caúna-miúda		■	■
Aquifoliaceae	<i>Ilex microdonta</i> Reissek	Congonha		■	■
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i> St. – Hil.	Erva-mate		■	■
Aquifoliaceae	<i>Ilex theezans</i> Mart.	Caúna-graúda		■	■
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Pinheiro-do-paraná		■	■
Asteraceae	<i>Vernonia discolor</i> (Spreng.) Less.	Vassourão-preto	■	■	
Asteraceae	<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén	Vassourão-branco	■	■	
Bignoniaceae	<i>Jacaranda puberula</i> Cham.	Caroba	■	■	■
Clethraceae	<i>Clethra scabra</i> Pers.	Carne-de-vaca	■	■	■
Cunoniaceae	<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	Guaperê	■	■	
Cyatheaceae	<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.	Xaxim			
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea lasiocoma</i> K. Schum.	Sapopema		■	■
Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax.	Leiteiro	■	■	
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	Branquilha-graúdo	■	■	■
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania commersoniana</i> (Bail.) L.B.Sm & Downs	Branquilha	■	■	■
Flacourtiaceae	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Café-do-mato		■	■
Flacourtiaceae	<i>Xylosma</i> sp.	Sucará		■	■
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez.	Canela-imbuia		■	■
Lauraceae	<i>Ocotea porosa</i> (Ness & Mart. Ex Ness) L. Barroso	Imbuia		■	■
Lauraceae	<i>Ocotea puberula</i> (A. Rich.) Ness	Canela-guaicá	■	■	■
Lauraceae	<i>Ocotea pulchella</i> Mart.	Canela-lageana	■	■	■
Lauraceae	<i>Persea major</i> (Ness) Kopp.	Pau-de-andrade		■	■
Mimosaseae	<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	Bracatinga	■	■	
Myrsinaceae	<i>Myrsine ferruginea</i> Sprengel	Capororoquinha		■	■
Myrsinaceae	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Capororoca		■	■
Myrtaceae	<i>Calyptanthus concinna</i> DC.	Guamirim-ferro	■	■	■
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg.	Guabiroba	■	■	■
Myrtaceae	<i>Myrcia</i> sp.	Guamirim		■	■
Synplocaceae	<i>Symplocos celastrina</i> Mart. Ex Miq.	Maria-mole-branca	■	■	■
Synplocaceae	<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl) Benth.	Sete-sangrias	■	■	■
Winteraceae	<i>Drimys brasiliensis</i> Miers.	Cataia		■	■

Fonte: WATZLAWICK (2003), modificada por ACCO (2004)

* Sucessão secundária (A = Fase inicial; B = Fase intermediária; C = Fase avançada)

Na Figura 10 pode-se observar a distribuição dos tipos vegetacionais sucessionais existentes na área de estudo, com as respectivas localizações das parcelas utilizadas no presente trabalho.

FIGURA 10 – INTERPRETAÇÃO VISUAL DO USO DO SOLO E LOCALIZAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS



Fonte: Universidade Federal do Paraná, Laboratório de Inventário Florestal. Análise Visual do uso da terra utilizando imagem do satélite de alta resolução IKONOS II. Curitiba, 2002.

4.2 MATERIAIS UTILIZADOS

4.2.1 Produtos cartográficos e imagens

Foram utilizados mapas temáticos das Fazendas Santa Cândida, São Pedro I, II e III, elaborados pela empresa de aerolevantamentos AEROSAT em outubro de 2000 (base cartográfica aérea de 1992), na escala 1:1. 000.

A imagem utilizada foi a do satélite IKONOS II, a qual apresenta as características que constam na Tabela 8, multiespectral com as bandas MS-1, MS-2, MS-3 e MS-4, possuindo uma alta resolução espacial (4 metros x 4 metros), imageada em 10 de dezembro de 2000.

TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM UTILIZADA

SATÉLITE	BANDAS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL		RESOLUÇÃO ESPACIAL
IKONOS II	Pancromática	Pan	0.45 – 0,90	1 metro
	Multiespectral	Azul	0.45 – 0,52	4 metros
		Verde	0.52 – 0,60	
		Vermelho	0.63 – 0,69	
		Infravermelho próximo	0.76 – 0,90	

Fonte: adaptado de engesat.com.br

4.2.2 Material de apoio e equipamentos utilizados

Este trabalho é parte de um esforço conjunto de um projeto maior que envolveu vários estudos, gerando dissertações e teses das quais os resultados vêm contribuir na tomada de decisão para um melhor aproveitamento e conservação da biodiversidade dos 4.210,75 ha de remanescente da Floresta Ombrófila Mista Montana, General Carneiro-PR.

Todo o material de base utilizado para esse estudo foi trabalhado em diferentes fases por algum integrante do grupo e, faz-se necessário a descrição do procedimento metodológico destes para que haja compreensão fundamentada e que, trabalhos como este possam servir de embasamentos para outros.

Conforme descrito por WATZLAVICK (2003), os procedimentos realizados na imagem foram:

1. Tratamento da imagem – A imagem proveniente do satélite IKONOS II, encontra-se em formato de números digitais (DN) os quais foram convertidos para radiância utilizando-se para isso, os parâmetros de calibração do sensor, sendo que os mesmos encontram-se no documento nº SEREF-016 (IKONOS *Relative Spectral Response and Radiometric Calibration Coefficients*), da SPACE IMAGING (2000) e a convenção de radiância para reflectância foram feitas utilizando-se dos parâmetros que levam em consideração o posicionamento do sensor e a distância normalizada terra-sol.

2. Correção Geométrica da Imagem – Foram coletados no campo 15 (quinze pontos de apoio com GPS Leica – Topográfico SR-510 (L1 – uma frequência) com rádio (captura do sinal de correção da RACAL), método “DGPS/RTCM” – somente código (diferencial em tempo real), com precisão de aproximadamente 50 cm. Para a aquisição dos pontos de apoio observou-se para que estes estivessem bem distribuídos por toda a imagem e de fácil reconhecimento campo/imagem. Utilizou-se uma composição colorida com as bandas MS-1, MS-2 e MS-3.

A correção foi realizada utilizando 11 pontos de apoio e o método de interpolação do vizinho mais próximo, com polinômio de transformação de 1º grau, nas bandas MS-1, MS-2, MS-3 e MS-4. Este método foi escolhido em função deste melhor preservar o valor original do DN, devido não envolver médias no processo. Os quatro pontos de apoio restantes foram utilizados para efeito de verificação.

3. Conversão dos Números Digitais para Radiância /Reflectância - Com a finalidade de minimizar a variabilidade de condições de iluminação no comportamento espectral do alvo quando se trabalha com vegetação, para tanto, o processo de conversão dos DN's para reflectância possui três fases:

- a) Correção atmosférica da imagem, devido a presença na atmosfera de aerossóis e vapores de água, dispersa de uma forma seletiva a radiação emitida pelo sol antes de chegar a superfície terrestre e o sensor;
- b) Conversão dos DN's para valores de radiância, conforme os coeficientes de calibração do sensor e
- c) Conversão dos valores de radiância para valores de reflectância, que leva em consideração parâmetros relacionados ao momento de imageamento da cena.

Para a realização da correção atmosférica na imagem, utilizou-se metodologia idealizada por CHAVEZ (1988;1989), citado por CHUVIECO (1990), denominada de correção do histograma por seus valores mínimos (*Histogram Minimum Method - HMM*). A metodologia assume que as áreas (alvos) com forte absortividade (água, sombras), deveriam apresentar uma radiância espectral muito próxima de zero, mas na prática o histograma dos números digitais (DNOS) da imagem sempre apresentam um mínimo superior a zero, atribuiu-se este valor ao efeito da dispersão da atmosfera. Pela metodologia, deve-se estabelecer uma banda de referência utilizando-se a mais afetada pela dispersão, com o valor mínimo desta banda (geralmente a banda no azul). Calcula-se um fator de correção atmosférica para as demais bandas, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$ND_{i,j,k} = ND_{i,j,k} - ND_{\min,k}$$

Onde ND do pixel (i,j) na banda K se ajusta ao ND mínimo dessa mesma banda.

A conversão dos DN's para radiância foi realizada levando-se em consideração os parâmetros de calibração do IKONOS II, conforme informações descritas no documento nº SE-REF-016 (*IKONOS Relative Spectral Response and Radiometric Calibration Coefficients*) conforme Tabela 9, e utilizando-se a seguinte equação:

$$L_{i,j,k} = DN_{i,j,k} \times [CalCoef_k]^{-1}$$

Onde: i,j,k = pixel i,j na banda k da imagem

$L_{i,j,k}$ = valor da radiância $mW/cm^2 \times sr^{-1}$

CalCoef = coeficiente de calibração da radiância na banda em $mW/cm^2 \times sr^{-1}$

$DN_{i,j,k}$ = valor do número digital (DN)

TABELA 9 – COEFICIENTES DE CALIBRAÇÃO RADIOMÉTRICA DO SATÉLITE IKONOSII

BANDA ESPECTRAL	COEFICIENTE DE CALIBRAÇÃO
MS – 1 (Blue)	637
MS – 2 (green)	573
MS – 3 (Red)	663
MS – 4 (VNIR)	503

Fonte: PETERSON et al. (2000)

Para a realização da conversão dos valores de radiância para valores de reflectância, considera-se parâmetros relacionados ao momento da aquisição da imagem.

$$R = \frac{PI \times L \times r}{E \times \cos\theta}$$

Onde: R = reflectância, adimensional

PI = 3,13159265

L = radiância, em mW/cm² x sr⁻¹

R = distância normalizada terra-sol, em unidades astronômicas

θ = ângulo zenital solar no centro da imagem, em graus

E = constante solar, em mW/cm²

4. Obtenção dos valores de Reflectância - Conforme metodologia utilizada por WATZALAWICK (2003), em cada uma das unidades amostrais foi obtida as coordenadas centrais com auxílio do GPS topográfico SR-510, procedendo-se a realização de corte na imagem em função do tamanho de unidade amostral.

Destas imagens foram retirados os valores médios de reflectância dos 12 pixels para as unidades com floresta natural os quais foram utilizados para estabelecer a relação entre os dados provenientes de biomassa e micronutrientes com a imagem. O procedimento descrito para as bandas MS-1, MS-2, MS-3 e MS-4, bem como para os Índices de Razão de bandas, NDVI e SAVI.

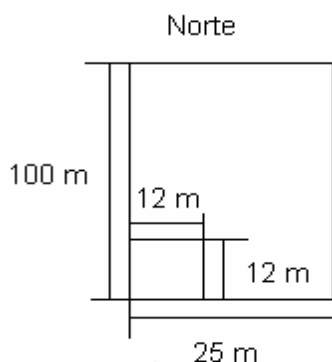
4.3 METODOLOGIA

4.3.1 Quantificação de biomassa

Foi realizado um inventário na área de estudo utilizando o método de amostragem de área fixa e o processo sistemático, no qual foram locadas e medidas 70 unidades amostrais (UAs) de 25x100 m, numeradas de 1 a 70 (Figura 11). Segundo WATZLAWICK (2003) e CALDEIRA (2003), destas 70 UAs, foram sorteadas aleatoriamente 20 de Floresta Ombrófila Mista Montana, e dentro destas instalou-se unidades amostrais de 12x12m (144 m²) para a quantificação de biomassa utilizando-se o método destrutivo.

Neste trabalho foram utilizados os dados obtidos para a quantificação de micronutrientes do fuste, casca, galhos, folhagens e miscelânea.

FIGURA 11 – ESQUEMA DA INSTALAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS



4.3.2 Determinação de micronutrientes na biomassa

Os dados de teor, bem como os conteúdos de micronutrientes na biomassa acima do solo ($\text{DAP} \geq 10,0 \text{ cm}$) foram extraídos do trabalho de CALDEIRA (2003), conforme metodologia descrita a seguir:

Das espécies amostradas que tinham mais de três exemplares, foram selecionados três (com maior, médio e menor DAP) e das que tinham menos de três, todas espécies foram usadas para a determinação do teor de nutrientes nos componentes da biomassa acima do solo ($\text{DAP} \geq 10,0 \text{ cm}$).

As amostras de cada componente da biomassa foram colocadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação e renovação de ar a 75°C e em seguida trituradas em moinho do tipo WILEY, passadas em peneiras de malha $1,0 \text{ mm}$ (20 mesh) e armazenadas em frascos de vidros para subsequente análise química (MIYAZAWA et al., 1999).

As análises químicas de tecido vegetal de Cu, Zn, Fe e Mn foram determinadas por digestão úmida e o B por digestão seca. Para a determinação de B, as amostras foram colocadas na mufla a 600°C por 1 hora e lidas no espectrofotômetro UV-VIS. No espectrofotômetro de absorção atômica (EAA), foram lidas as amostras de Cu, Zn, Fe e Mn (TEDESCO et al., 1995; MIYAZAWA et al., 1999).

Realizou-se a classificação dos teores médios foliares de macro e micronutrientes (g.kg^{-1}) nas espécies da Floresta Ombrófila Mista Montana. Essa classificação foi feita utilizando a média dos teores de cada nutriente e o desvio padrão, ou seja, (média + ou - desvio padrão), não levando em consideração os aspectos nutricionais e fisiológicos das espécies estudadas. A Tabela 10 apresenta o valor dos micronutrientes em (mg.kg^{-1}) presentes nas folhas das espécies, e na Tabela 11 são apresentados os valores dos micronutrientes em kg/ha .

TABELA 10 - TEORES MÉDIOS DE MICRONUTRIENTES (mg.kg⁻¹) NAS FOLHAS DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA

ESPÉCIES	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>Allophyllus edulis</i>	48,82	7,50	705,66	160,67	54,67
<i>Araucaria angustifolia</i>	26,42	5,17	149,66	787,67	16,79
<i>Calyptanthes concinna</i>	24,85	17,25	226,50	850,00	11,75
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	73,86	7,62	96,00	113,00	23,70
<i>Casearia decandra</i>	160,78	23,99	316,35	922,50	25,67
<i>Clethra scabra</i>	20,78	7,41	524,00	845,00	20,14
<i>Cupania vernalis</i>	47,78	8,90	151,66	927,67	29,10
<i>Dicksonia sellowiana</i>	39,15	17,26	661,66	325,00	20,84
<i>Drimys brasiliensis</i>	32,98	13,25	597,00	756,00	55,89
<i>Ilex dumosa</i>	49,82	11,78	78,70	1100,00	88,40
<i>Ilex microdonta</i>	57,43	6,48	60,50	946,67	40,97
<i>Ilex paraguariensis</i>	42,87	16,66	171,66	1208,00	36,67
<i>Ilex theezans</i>	85,12	10,20	130,00	990,00	109,00
<i>Jacaranda puberula</i>	49,35	7,15	253,50	865,00	15,70
<i>Lamanonia ternata</i>	43,67	6,50	174,00	920,00	29,50
<i>Lithraea brasiliensis</i>	33,44	14,90	130,33	347,67	21,87
<i>Matayba elaeagnoides</i>	35,89	7,55	130,50	763,00	22,85
<i>Mimosa scabrella</i>	29,40	15,70	331,66	609,00	21,48
<i>Myrcia sp</i>	75,85	22,80	149,50	441,00	8,900
<i>Myrsine ferruginea</i>	49,00	10,16	156,66	151,00	17,23
<i>Myrsine umbellata</i>	22,48	11,06	320,33	264,00	10,11
<i>Nectandra megapotamica</i>	34,40	8,86	172,66	521,67	16,30
<i>Ocotea porosa</i>	16,69	11,40	316,33	575,33	13,07
<i>Ocotea pulchella</i>	30,07	8,02	166,73	355,33	30,56
<i>Ocotea puberula</i>	44,16	9,43	137,55	496,50	13,46
<i>Persea major</i>	23,47	10,40	279,00	960,00	35,80
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	24,35	24,20	207,00	746,00	31,60
<i>Prunus brasiliensis</i>	23,59	8,29	78,95	459,00	17,96
<i>Quillaja brasiliensis</i>	42,76	7,80	77,00	1460,00	29,00
<i>Sapium glandulatum</i>	65,45	7,03	111,26	569,00	23,29
<i>Schinus terebinthifolius</i>	24,57	8,70	50,00	198,00	19,22
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	124,25	9,10	149,00	84,00	25,60
<i>Sebastiania commersoniana</i>	28,40	1,84	47,00	58,00	10,00
<i>Sloanea lasiocoma</i>	12,28	40,00	108,00	1080,00	8,50
<i>Styrax leprosus</i>	30,86	8,70	147,50	875,00	12,77
<i>Symplocos celastrina</i>	42,04	13,00	190,00	519,00	25,83
<i>Symplocos uniflora</i>	30,03	9,88	610,85	586,00	38,71
<i>Vernonia discolor</i>	100,24	15,80	420,00	1220,00	30,00

Fonte: CALDEIRA (2003)

TABELA 11 - TEORES MÉDIOS DE MICRONUTRIENTES (Kg) NAS FOLHAS DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA

ESPÉCIES	B	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>Allophyllus edulis</i>	0,05	0,01	0,70	0,16	0,05
<i>Araucaria angustifolia</i>	0,03	0,00	0,15	0,79	0,02
<i>Calyptanthus concinna</i>	0,02	0,02	0,23	0,85	0,01
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0,07	0,01	0,09	0,11	0,02
<i>Casearia decandra</i>	0,16	0,02	0,32	0,92	0,02
<i>Clethra scabra</i>	0,02	0,01	0,52	0,84	0,02
<i>Cupania vernalis</i>	0,05	0,01	0,15	0,93	0,03
<i>Dicksonia sellowiana</i>	0,04	0,02	0,66	0,32	0,02
<i>Drimys brasiliensis</i>	0,03	0,01	0,59	0,75	0,06
<i>Ilex dumosa</i>	0,05	0,01	0,07	1,10	0,09
<i>Ilex microdonta</i>	0,06	0,01	0,06	0,95	0,04
<i>Ilex paraguariensis</i>	0,04	0,02	0,17	1,21	0,04
<i>Ilex theezans</i>	0,08	0,01	0,13	0,99	0,11
<i>Jacaranda puberula</i>	0,05	0,01	0,25	0,86	0,01
<i>Lamanonia ternata</i>	0,04	0,01	0,17	0,92	0,03
<i>Lithraea brasiliensis</i>	0,03	0,01	0,13	0,35	0,02
<i>Matayba elaeagnoides</i>	0,04	0,01	0,13	0,76	0,02
<i>Mimosa scabrella</i>	0,03	0,01	0,33	0,61	0,02
<i>Myrcia</i> sp.	0,07	0,02	0,15	0,44	0,01
<i>Myrsine ferruginea</i>	0,04	0,01	0,15	0,15	0,02
<i>Myrsine umbellata</i>	0,02	0,01	0,32	0,26	0,01
<i>Nectandra megapotamica</i>	0,03	0,01	0,17	0,52	0,02
<i>Ocotea porosa</i>	0,02	0,01	0,37	0,57	0,01
<i>Ocotea puberula</i>	0,03	0,01	0,16	0,35	0,03
<i>Ocotea pulchella</i>	0,04	0,01	0,14	0,49	0,01
<i>Persea major</i>	0,02	0,01	0,28	0,96	0,03
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	0,02	0,02	0,21	0,75	0,03
<i>Prunus brasiliensis</i>	0,02	0,01	0,08	0,45	0,02
<i>Quillaja brasiliensis</i>	0,04	0,01	0,07	1,46	0,03
<i>Sapium glandulatum</i>	0,06	0,01	0,11	0,57	0,02
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0,02	0,01	0,05	0,19	0,02
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0,12	0,01	0,15	0,08	0,02
<i>Sebastiania commersoniana</i>	0,02	0,01	0,04	0,05	0,01
<i>Sloanea lasiocoma</i>	0,01	0,04	0,11	1,08	0,01
<i>Styrax leprosus</i>	0,03	0,01	0,14	0,87	0,01
<i>Symplocos celastrina</i>	0,04	0,01	0,19	0,52	0,02
<i>Symplocos uniflora</i>	0,03	0,01	0,61	0,58	0,04
<i>Vernonia discolor</i>	0,10	0,01	0,42	1,22	0,03
<i>Xylosma</i> sp.	0,04	0,01	0,16	1,32	0,02

Fonte: CALDEIRA (2003)

4.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Para gerar as imagens contendo os índices de vegetação foram utilizadas as bandas já com os valores de reflectância calculados a partir das fórmulas abaixo relacionadas.

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*)

$$NDVI = \frac{(MS-4) - (MS-3)}{(MS-4) + (MS-3)}$$

Onde: MS-3 = banda no vermelho, adimensional;

MS-4 = banda do infravermelho próximo, adimensional.

RVI - Índice de Vegetação da Razão (*Ratio Vegetation Index*)

$$RVI = \frac{MS-4}{MS-3}$$

Onde: MS-3 = banda no vermelho, adimensional;

MS-4 = banda do infravermelho próximo, adimensional.

SAVI - Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index*)

$$SAVI = \left[\frac{(MS-4) - (MS-3)}{(MS-4) + (MS-3) + L} \right] \times (1 + L)$$

Onde: MS-3 = banda no vermelho, adimensional;

MS-4 = banda do infravermelho próximo, adimensional;

L = fator de correção para o solo, adimensional.

O valor de L faz com que os valores de brilho do solo exerçam uma influência menor na resposta espectral da vegetação e varia de 0 a 1, dependendo da densidade da vegetação, portanto locais com vegetação mais densa L = 0,25 e mais rala ou mais aberta L = 1. O valor L = 0,5 cabe a maioria dos tipos vegetacionais associadas a uma grande variedade de solos (HUETE, 1988 *apud* WATZLAWICK, 2003), sendo este valor utilizado.

5. RESULTADOS

5.1 QUANTIFICAÇÃO DOS MICRONUTRIENTES NA BIOMASSA

Os micronutrientes foram calculados multiplicando-se a biomassa seca (kg.espécie^{-1}), CALDEIRA (2003), pelo teor médio dos nutrientes nas folhas (Tabela 10), para cada espécie. A soma dos valores dos micronutrientes para cada componente da biomassa forneceu a quantidade total dos mesmos (Mg.ha^{-1}), presentes na Tabela 12. Para este trabalho foram utilizados somente o somatório dos micronutrientes das folhas nas parcelas e não para cada espécie individualmente.

TABELA 12 – QUANTIDADE TOTAL DE MICRONUTRIENTES PRESENTE NAS FOLHAS POR PARCELA (Kg/ha)

PARCELAS	BORO	COBRE	FERRO	MANGANÊS	ZINCO
01	1,15	0,43	6,96	15,57	1,09
02	2,16	0,27	15,62	5,03	1,47
03	1,14	0,49	6,29	20,89	0,59
04	0,80	0,14	1,16	10,53	0,40
05	1,61	0,72	19,54	35,35	1,04
06	0,50	0,20	5,79	5,55	0,21
07	2,03	0,63	16,69	59,07	1,37
08	5,19	1,05	27,43	149,64	3,34
09	3,91	0,63	16,11	64,35	1,56
10	4,07	0,78	21,94	115,39	2,51
11	2,99	1,12	30,09	93,84	2,13
12	53,56	1,40	32,28	83,14	2,71
13	1,53	0,84	20,29	46,56	1,13
14	1,32	0,32	5,58	16,61	0,69
15	2,88	0,77	16,59	57,20	2,01
16	1,44	0,62	14,03	35,22	1,29
17	3,42	0,83	22,83	82,23	2,04
18	1,69	0,62	12,93	29,86	0,99
19	2,85	0,76	17,84	69,82	2,14
20	0,46	0,31	3,04	0,48	9,98

Fonte: ACCO(2004)

$$QTM = BS \times TMM$$

Onde: QTM = Quantidade Total de Micronutrientes (Kg/ha)

BS = Biomassa Seca, em Kg

TMM = Teor Médio de Micronutrientes, em mg.kg^{-1}

Para os dados serem manipulados e para que correspondessem ao tamanho do pixel foi necessário transformar o conteúdo de nutrientes na parcela (144 m²) para 16 m², onde 16 equivale ao tamanho do pixel e 144 aos metros quadrados da área de estudo. Esta operação resultou nos dados apresentados na Tabela 13 e posteriormente foram utilizadas para as análises de regressão.

TABELA 13 – QUANTIDADE TOTAL(Kg/ha) DE MICRONUTRIENTES TRANSFORMADOS EM FUNÇÃO DO TAMANHO DO PIXEL POR PARCELA

PARCELAS	BORO	COBRE	FERRO	MANGANÊS	ZINCO
01	0,13	0,05	0,77	1,73	0,12
02	0,24	0,03	1,73	0,56	0,16
03	0,13	0,05	0,69	2,32	0,06
04	0,09	0,01	0,13	1,17	0,04
05	0,18	0,08	2,17	3,93	0,11
06	0,05	0,02	0,64	0,62	0,02
07	0,22	0,07	1,85	6,56	0,15
08	0,58	0,12	3,05	16,63	0,37
09	0,43	0,07	1,79	7,15	0,17
10	0,45	0,08	2,43	12,82	0,28
11	0,33	0,12	3,34	10,43	0,24
12	5,95	0,15	3,59	9,24	0,30
13	0,17	0,09	2,25	5,17	0,12
14	0,15	0,03	0,62	1,84	0,07
15	0,32	0,08	1,84	6,35	0,22
16	0,16	0,07	1,56	3,91	0,14
17	0,38	0,09	2,54	9,14	0,23
18	0,19	0,07	1,44	3,32	0,11
19	0,32	0,08	1,98	7,75	0,24
20	0,05	0,03	0,34	0,05	1,11

Fonte: ACCO (2004)

5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA OBTENÇÃO DE EQUAÇÃO AJUSTADA

As equações de regressão desenvolvidas neste trabalho geraram os modelos matemáticos que foram obtidos após a definição e escolha das melhores correlações e das análises de regressão, com o objetivo de estimar o conteúdo de micronutrientes.

Para a seleção das variáveis estabeleceu-se uma matriz, onde foram determinadas as correlações entre as variáveis participantes do modelo. As variáveis que apresentaram altas correlações foram envolvidas nos procedimentos de escolha, formalizando os modelos mais consistentes e que caracterizaram os objetivos deste estudo. Efetuou-se a análise testando-se variável por variável e a seleção por *Stepwise*, até a obtenção de um modelo mais bem ajustado. Considerou-se para esse caso um erro padrão da estimativa de 5%.

A escolha do melhor modelo foi feita por meio das comparações dos coeficientes de determinação (R^2), valores de F. (ANEXO 1)

Foram utilizadas para a análise de correlação as variáveis biométricas dos micronutrientes e as variáveis digitais oriundas da reflectância nas bandas Azul (MS-1), Verde (MS-2), Vermelho (MS-3) e Infravermelho Próximo (MS-4), e as reflectâncias geradas pelos índices: NDVI, Razão de Bandas e SAVI, todos calculados a partir do valor do pixel médio por parcela, apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 – VALORES DE REFLECTÂNCIA (EXEMPLO - BORO)

BLUE	GREEN	RED	NIR	RAZAO	NDVI	SAVI
0,027	0,037	0,0283	0,200	7,087	0,753	0,354
0,023	0,038	0,027	0,240	8,899	0,798	0,417
0,023	0,035	0,029	0,255	8,535	0,790	0,430
0,024	0,038	0,028	0,238	8,326	0,785	0,409
0,019	0,033	0,029	0,268	9,242	0,805	0,449
0,021	0,034	0,029	0,321	11,055	0,834	0,515
0,019	0,029	0,028	0,218	7,733	0,771	0,381
0,015	0,030	0,018	0,214	11,388	0,838	0,399
0,017	0,032	0,024	0,318	13,051	0,857	0,523
0,015	0,026	0,026	0,253	9,780	0,814	0,438
0,018	0,029	0,027	0,222	8,177	0,782	0,390
0,016	0,026	0,020	0,209	10,263	0,822	0,389
0,014	0,027	0,018	0,232	12,804	0,855	0,427
0,016	0,024	0,023	0,233	10,136	0,820	0,416
0,016	0,027	0,021	0,252	11,933	0,845	0,448
0,017	0,028	0,024	0,268	11,126	0,835	0,462
0,018	0,027	0,026	0,279	10,679	0,828	0,471
0,018	0,028	0,024	0,264	10,812	0,830	0,456
0,016	0,026	0,019	0,277	13,998	0,867	0,484
0,016	0,023	0,020	0,282	14,004	0,867	0,489

Fonte: WATZALAWICK (2003)

A partir da matriz de correlação foram verificadas quais variáveis tinham maior correlação com a variável dependente (micronutriente). O segundo passo foi a eliminação das variáveis pelo método de *Stepwise* (passo a passo) restando apenas as variáveis que contribuíam para o modelo.

Em todas as análises de regressão foram realizadas análises do coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa e teste F da análise de variância visando julgar qual a melhor equação que estimava adequadamente as variáveis em campo.

O valor das correlações com todos os componentes medidos por compartimentos (galhos, folhas, raízes e miscelânea), apresentaram uma baixa correlação dos nutrientes com as bandas e índices de vegetação quando se utilizaram galhos, folhas, raízes, miscelânea. O aumento destas correlações houve quando foi utilizado somente o conteúdo de micronutriente presente nas folhas. Isto pode ter ocorrido em função da maioria dos satélites não possuir alta capacidade de penetração no interior do dossel da floresta, e a reflectância captada pela sensor está associada às copas das árvores.

Com base nos resultados da matriz de correlação, analisou-se p a um nível de significância de 5%, e selecionou-se as melhores equações por *STEPWISE* (ANEXO 2), constatou-se que os modelos foram considerados razoáveis (R^2), com exceção Zinco ($R^2 = 0,242$). (TABELA 15)

Os coeficientes de correlação variam de -1 a +1. Quando ele é positivo indica uma variação positiva das duas variáveis e, quanto mais próximo de 1 maior a correlação entre elas. A relação entre as variáveis testadas foi considerada satisfatória.

Os dados obtidos no campo e os obtidos da imagem de satélite foram correlacionados e por meio de análise de regressão foram gerados modelos. Os dados de conteúdos de micronutrientes (variáveis dependentes) e os dados provenientes da imagem (variáveis independentes) foram correlacionadas originando uma equação linear:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7$$

As equações ajustadas para cada modelo são apresentadas na Tabela 15, assim como os valores de F, R^2 , R e Sxy.

TABELA 15 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA CADA NUTRIENTE

NUTRIENTE	EQUAÇÃO AJUSTADA	F	R ²	R	SXY
Boro	$(6.634897 - 229.1551 *RED + 16.79499 *NIR - 0.472497 *RAZÃO)$	4,596	0,463	0,680	0,179
Cobre	$(0.364326 - 7.069465 *BLUE - 0.0366163 *SAVI)$	8,711	0,506	0,711	0,026
Manganês	$(97.95475 - 1989.458 *BLUE + 569.7665 *GREEN - 88.23091 *NDVI)$	7,504	0,585	0,765	3,109
Ferro	$(23.32304 - 435.285 *BLUE + 128.3701 *GREEN - 21.11646 *NDVI)$	6,126	0,534	0,731	0,734
Zinco	$(0.405554 - 13.0237 *BLUE)$	5,754	0,242	0,492	0,084

Fonte: ACCO (2004)

5.3 GERAÇÃO DE MAPAS

Para a obtenção dos mapas foi aplicado o modelo obtido para cada micronutriente fazendo-se a Matemática de Bandas no software ENVI 3.2. Com este procedimento é possível entrar com a equação e obter uma imagem com a quantidade de micronutriente por pixel.

Após a obtenção do mapa aplicou-se um *Density Slice* para equalização da imagem e cores foram atribuídas às classes determinadas a partir das quantidades de micronutrientes nas parcelas. Estabeleceu-se 3 classes: alto, médio e baixo, separados a partir de um gradiente total obtido como resultado da quantificação dos micronutrientes, apenas para melhor apresentação visual. Transferidas para o Arc View GIS 3.2 foram convertidas para um arquivo *Shape file* para o corte da imagem resultando somente a área de interesse, obtendo-se então o mapeamento de cada micronutriente na área de Floresta Ombrófila Mista Montana.

Os mapas foram gerados a partir dos dados provenientes do satélite IKONOS II e de dados obtidos de método destrutivo onde se utilizou o inventário florestal para obtenção dos mesmos. Após a correção geométrica da imagem e conversão dos valores numéricos digitais de radiância para reflectância, foram então obtidas as imagens.

O tratamento estatístico dos dados foi realizado inicialmente com a análise da correlação entre as variáveis consideradas, sendo as variáveis biométricas micronutrientes e as variáveis digitais as reflectâncias das bandas MS-1, MS-2, MS-3 e MS-4, e reflectância das imagens geradas pelos índices: Razão, NDVI e SAVI.

Para determinar quais os dados que melhor estimavam os micronutrientes, utilizou-se análise de regressão, que leva em consideração a relação entre duas ou mais variável

quantitativas ligada a um modelo matemático para que se possa fazer a previsão de uma variável com base em outra.

Os dados de micronutrientes foram considerados variáveis dependentes e os valores provenientes das imagens, considerados variáveis independentes. Para eliminar variáveis que não explicassem o modelo de forma adequada utilizou-se a eliminação por *Stepwise*.

Para a escolher da melhor equação, a que estimasse adequadamente as variáveis de campo, analisou-se o valor de p , a um nível de significância de 5%, F , R^2 , R e S_{xy} . Aplicada a equação na imagem e para cada elemento gerou-se uma nova imagem e o valor de cada pixel nesta imagem resultante continha o conteúdo de micronutrientes estimado pelas equações. O resultado foram mapas quantitativos, um para cada micronutriente, apresentados nas Figuras 12, 13, 14, 15 e 16.

FIGURA 12 – CONTEÚDO DE BORO ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA

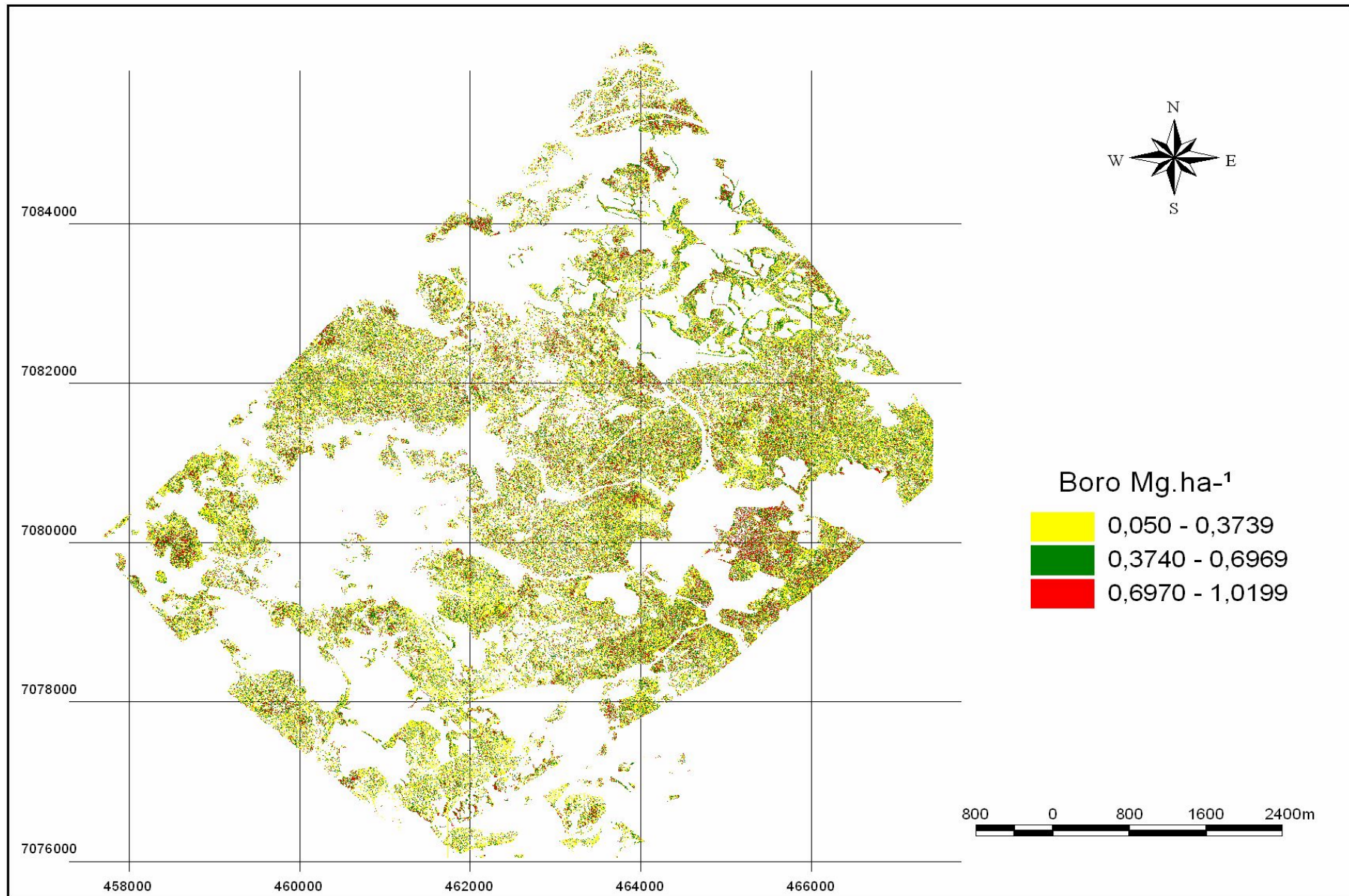


FIGURA 13 – CONTEÚDO DE COBRE (Mg.ha⁻¹) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA

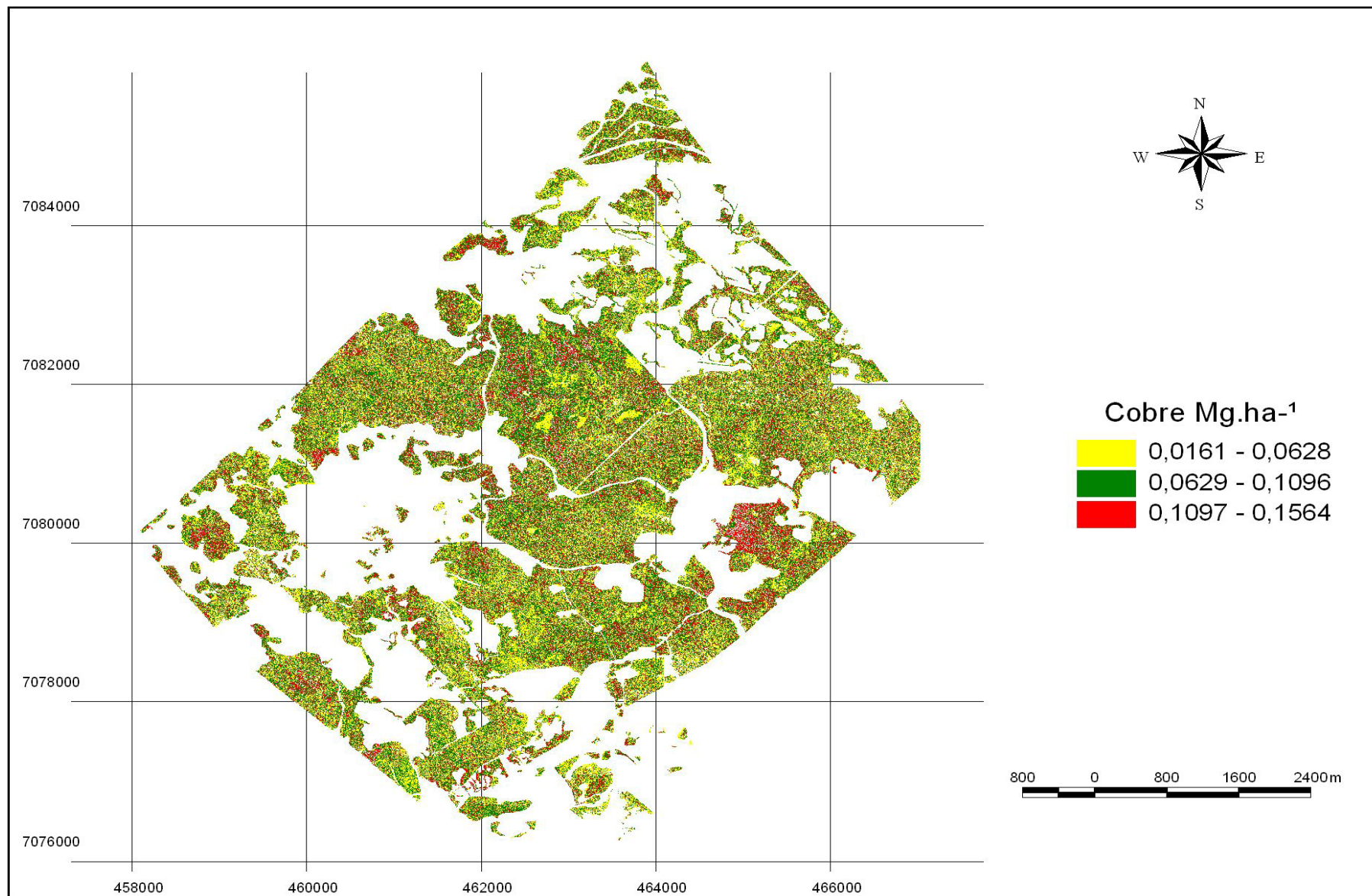


FIGURA 14 – CONTEÚDO DE FERRO (Mg.ha⁻¹) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA

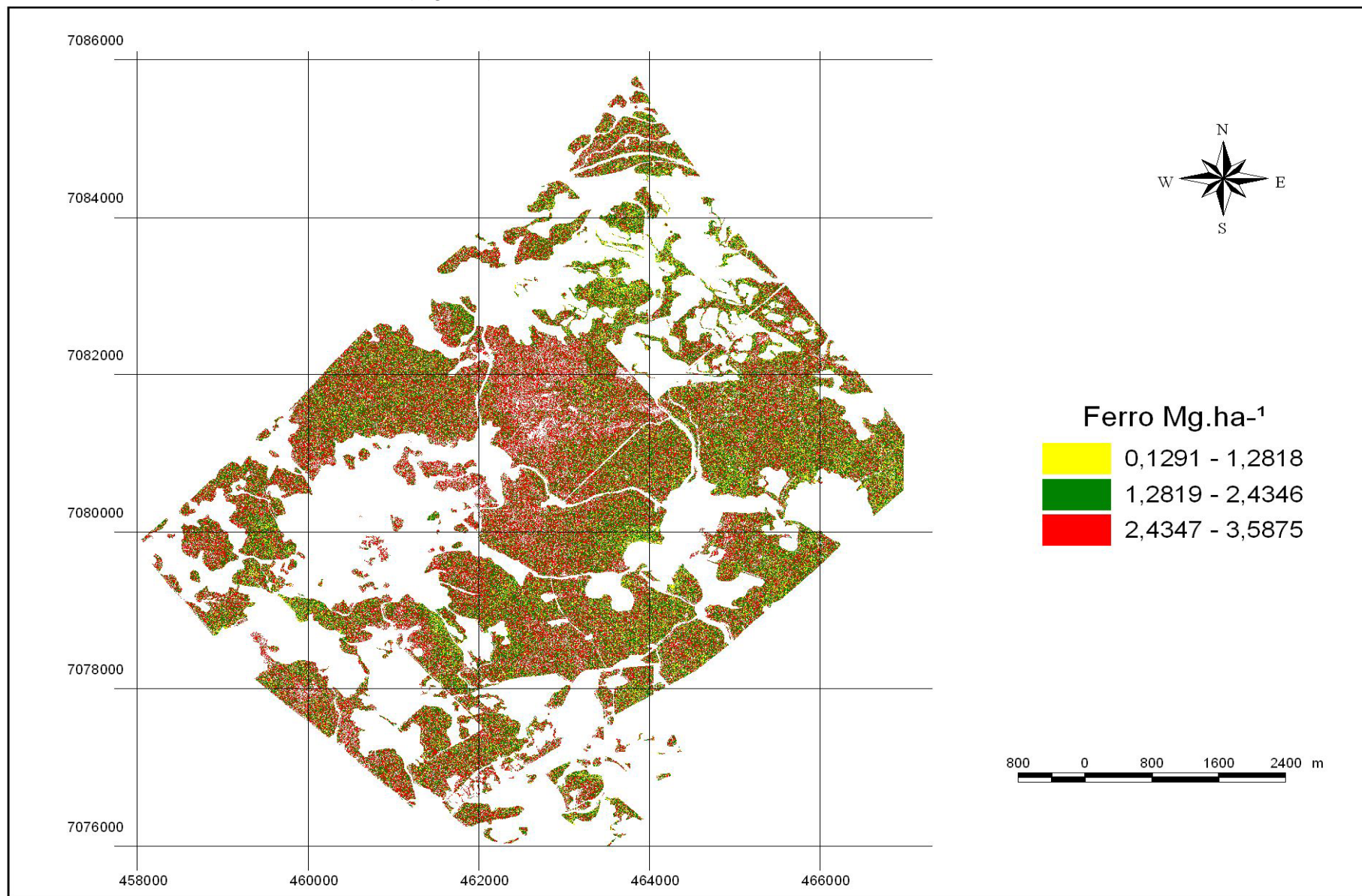


FIGURA 15 – CONTEÚDO DE MANGANÊS ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA

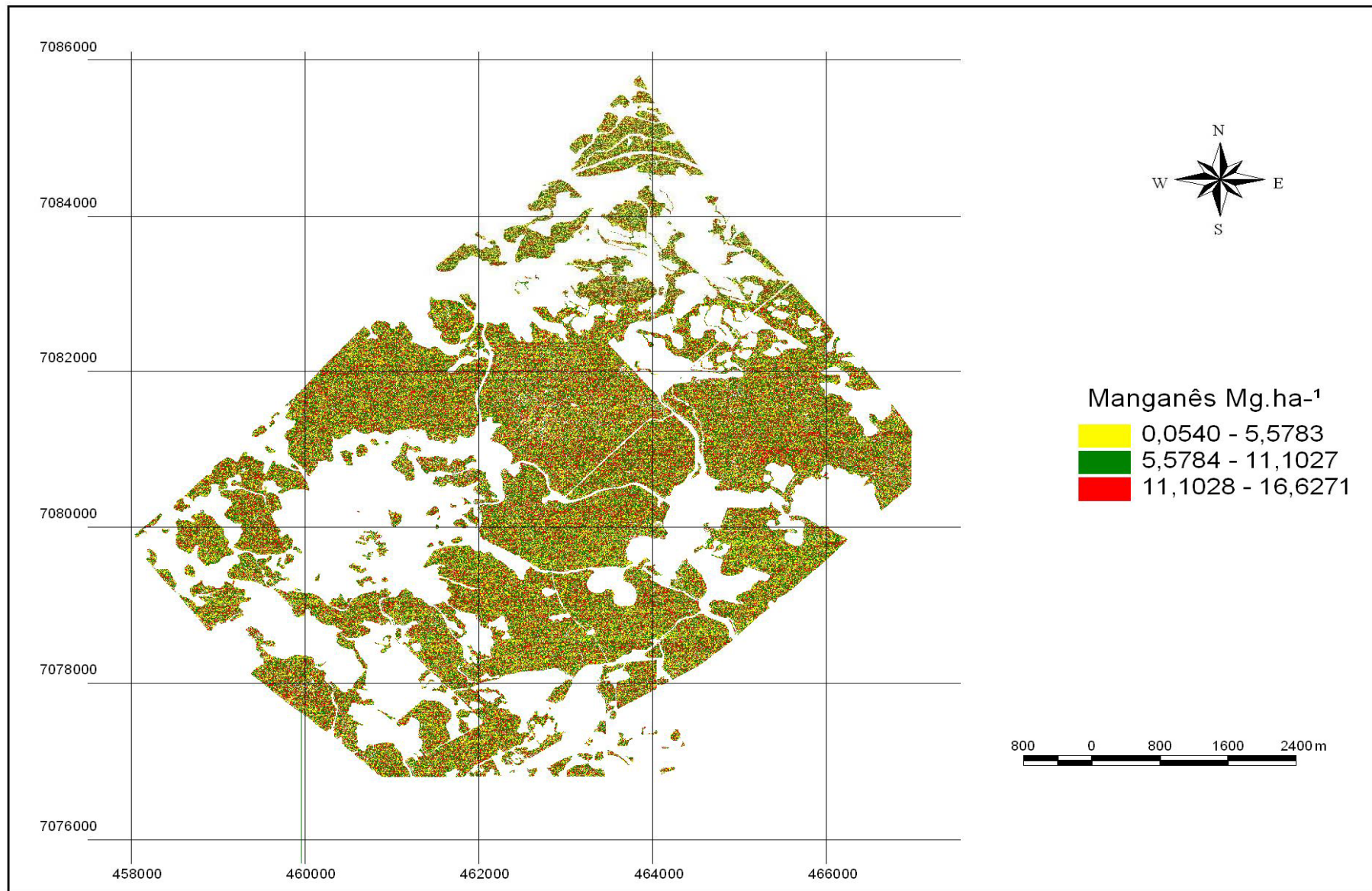
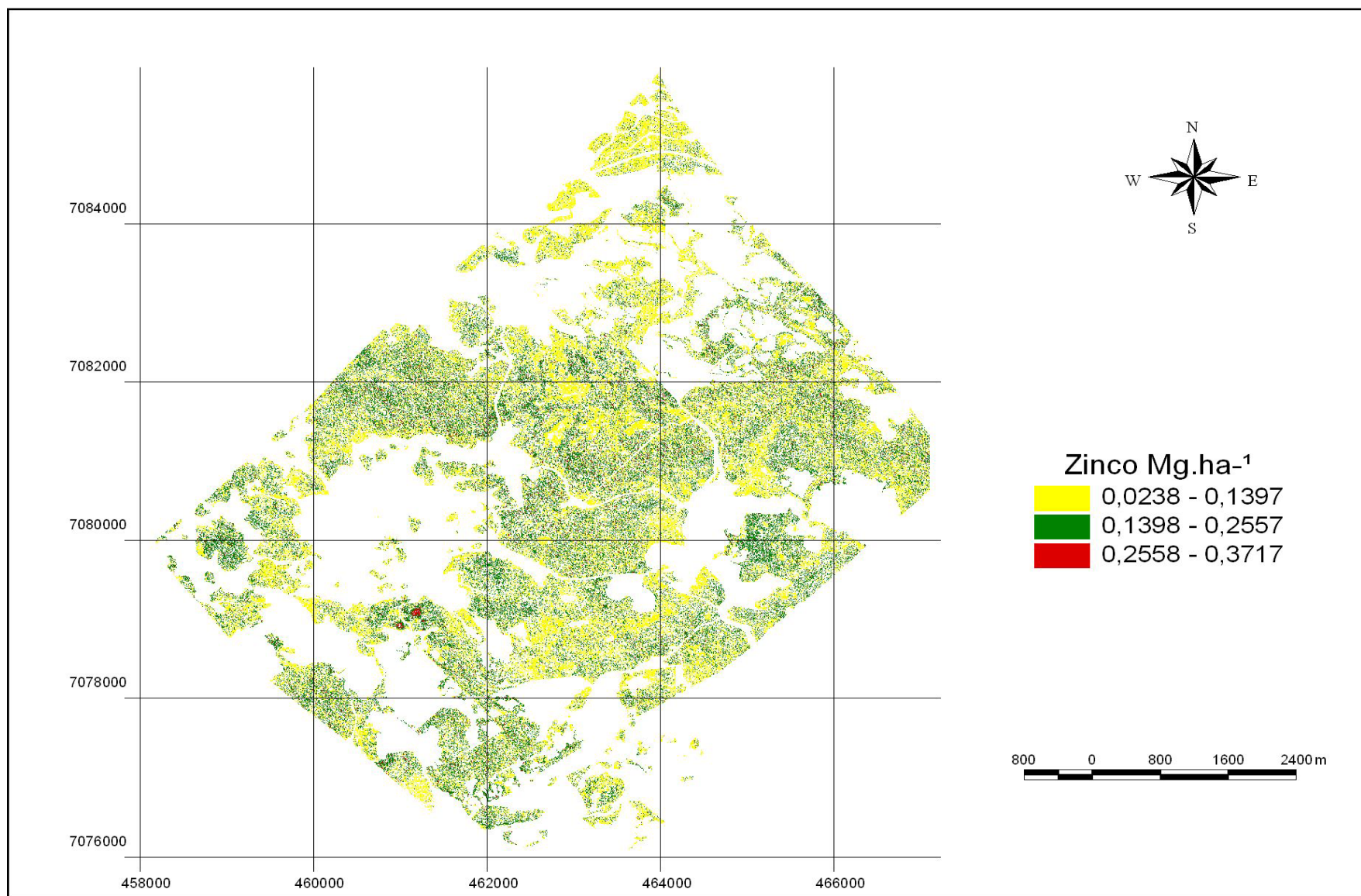


FIGURA 16 – CONTEÚDO DE ZINCO ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) PRESENTE NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA



5.4 QUANTIFICAÇÃO DE MICRONUTRIENTES POR ÁREA

A Tabela 16 relaciona a área em hectares onde houve a classificação dos micronutrientes Boro, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco. As classes foram divididas dentro de um determinado gradiente em alto, médio e baixo, nas cores amarelo, verde e vermelho respectivamente, somente para fins de comparação e foi possível observar que a classe considerada médio (vermelho), é onde houve uma maior classificação, com exceção nos mapas de Boro e Zinco. A área total apresentou a seguinte ordem decrescente de classificação (área) $Mg > Cu > Fe > B > Zn$. Segundo CALDEIRA (2004), o conteúdo total de micronutrientes em ordem decrescente, na floresta em estudo, seguiu a seguinte ordem : $Mn > Fe > Zn > B > Cu$, contudo mesmo com valores divergentes valida a metodologia utilizada.

TABELA 16 – CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES POR ÁREA (KG/HA)

CONTEÚDO DE MICRONUTRIENTES	BORO	COBRE	FERRO	MANGANÊS	ZINCO
	670.7058	806.3441	304.4382	707.5093	728.8159
ÁREA (ha)	465.1557	1035.5116	977.3113	1016.3552	525.3618
	227.9457	483.0724	953.7525	667.4319	52.1454
TOTAL	1363.8072	2324.9281	2235.502	2391.2964	1306.3231

Fonte: ACCO (2004)

5.5 BIODISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES E ASPECTOS AMBIENTAIS

Este ítem visa discutir a quantificação de nutrientes encontrada em uma área total de 4.210,75 ha, remanescente da Floresta Ombrófila Mista e a disponibilidade dos mesmos no ciclo biogeoquímico.

A análise laboratorial para a quantificação do teor de micronutrientes neste estudo mostrou que há cerca de 38,7 kg/ha de micronutrientes no componente folha. Essa vegetação apresenta-se em estágio secundário, em três fases de desenvolvimento: inicial, intermediária e avançada, visto na Tabela 7.

Nos estágios intermediário e avançado foi verificada a presença de 78,4% de todas as espécies encontradas no local, o que leva a inferir que o perfil da vegetação apresenta um dossel mais fechado, portanto, os solos minerais não hidromórficos presentes na região de estudo, estão menos expostos às chuvas causadoras de lixiviação que transportariam os nutrientes por meio de água de superfície. Em solo com menos ação intempérica é natural

que a vegetação apresente maior diversidade encaminhando-se ao estágio de clímax com melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis.

CALDEIRA et. al. (2004), estudando vegetação em um mesmo estágio de desenvolvimento verificaram diferenças significativas embora fossem da mesma idade porém, de três procedências diferentes. Constatou-se uma grande variação na eficiência nutricional entre as procedências as quais mostraram diferença entre a eficiência na utilização dos nutrientes para a produção de biomassa total e biomassa da casca e madeira. Tratando exclusivamente de *Pinus* sp., os teores de Fe, Mn, Zn, Cu e B, analisados em três sítios apresentaram em geral em níveis baixos para Zn e Mn, muito baixos para B e altos para Cu e Fe, de acordo com a CFSEMG (1999).

A Floresta Ombrófila Mista estudada está sobre o solo caracterizado como cambissolos, litólicos e terra Bruna estruturada, os quais liberam metais e metalóides no solo, água e atmosfera. Óxido-hidróxido de Fe e Mn predominam entre as formas cristalinas, certamente por esse motivo foi encontrada a maior disponibilidade do micronutriente Mn, o que pode ser observado no Mapa de Mg (Figura 15), gerado por meio do modelo obtido pela matemática de bandas no processamento de imagem onde está representando cerca de 26,4 kg/ha.

Dentre os cinco micronutrientes avaliados nas folhas, o único que pode ser relacionado aos sintomas de amarelecimento é o Mn, Apesar de o Mn ser um nutriente muito similar ao Fe, tanto em comportamento químico como em ocorrência geológica, ele apresenta maior mobilidade (SAUR, 1990), o que se deve à sua natureza mais eletropositiva e à maior solubilidade de seus compostos. Este fato deve contribuir para que ocorra maior lixiviação do Mn em relação ao Fe o que vem a confirmar que a vegetação secundária da área de estudo apresenta-se com características próximas ao estágio clímax, com dossel fechado e sem a lixiviação dos micronutrientes, pois justamente o Mn é o elemento de maior estoque na vegetação (Figura 15).

A baixa concentração de Fe na folhas em comparação ao que é encontrado nas raízes é discutido em LASTRA et. al. (1988), que observaram este fato, atribuindo-o a uma rápida absorção de Cu^{+2} e Fe^{+2} , com lenta mobilização para a parte aérea, o que segundo os autores está de acordo com os relevantes papéis desses micronutrientes nas cadeias respiratórias mitocondriais, muito ativas nas raízes. Porém, os dados encontrados nas análises a partir da geração dos mapas, mostram que há uma grande disponibilidade de ferro na área de estudo, sendo este elemento o segundo em estoque na floresta ombrófila mista o que nos leva a inferir que há uma certa disponibilidade desse nutriente no solo, pelas suas características naturais já discutidas anteriormente sobre a predominância de óxido-hidróxido de Fe e Mn entre as formas cristalinas.

O teor de zinco encontrado para todas as espécies componentes da floresta com araucária foi muito baixo (1,08 kg/ha), um pouco mais que a quantidade de cobre. A má nutrição fisiológica com Zn parece estar relacionada à interferência de elementos como P, Fe e Mn mas, é um fenômeno sobre o qual não se tem perfeita compreensão (MENGEL e KIRKBY, 1982).

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados pode-se concluir que:

- As variáveis provenientes das imagens do satélite IKONOS II possibilitaram quantificar os micronutrientes na Floresta Ombrófila Mista Montana, o que reforça a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto.
- Os mapas gerados dos micronutrientes Boro, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco resultaram quantidade/área e puderam ser comparados com as quantificações feitas em campo, isso mostra que a utilização de imagens de satélite para a quantificação é possível.
- Devido a diferença de quantidade encontrada de micronutrientes neste trabalho com o levantamento de campo e análise laboratorial, sugere que muitos foram os fatores para que isto ocorresse, podendo-se citar: inclinação da folha na hora do imageamento, sombra, orientação, fatores atmosféricos, deficiências nutricionais podendo alterar sua coloração, idade, época de amostragem, além de que no estudo em campo coleta-se todo o material (galhos, miscelânea, raízes, troncos) em quanto que este estudo foi feito utilizando apenas folhas.
- A utilização do IKONOS, reduz a quantidade de dados a serem levantados em campo diminuindo o tempo de execução do projeto e custos.
- Os índices de vegetação testados obtiveram respostas significativas, pois baseiam-se na interação entre vegetação e energia eletromagnética, utilizados para realçar a vegetação na imagem.
- A utilização de tal metodologia é válida somente para a Floresta Ombrófila Mista Montana, mas não descarta a possibilidade de utilizar a mesma técnica para as demais tipologias florestais bem como em florestas plantadas.
- Em ordem decrescente, os conteúdos de micronutrientes, tanto no levantamento em campo como os gerados pelo modelo apresentaram resultados similares, o que comprova a eficácia do método.
- Ordem decrescente de área quantificada na imagem - **Mn > Cu > Fe > B > Zn**.
- Ordem decrescente de área quantificada em campo - **Mn > B > Cu > Fe > Zn**.
- O uso somente das folhas mostrou uma melhor resposta quando analisada a matriz de correlação, isto deve-se ao fato do dossel da floresta estar envolvido

diretamente com as interações da energia solar e consequentemente na resposta espectral.

- A utilização do IKONOS, reduz a quantidade de dados a serem levantados em campo diminuindo o tempo de execução e custos.
- Os índices de vegetação testados obtiveram respostas significativas, pois baseiam-se na interação entre vegetação e energia eletromagnética, utilizados para realçar a vegetação na imagem.
- A utilização de tal metodologia é válida somente para a Floresta Ombrófila Mista Montana, mas não descarta a possibilidade de utilizar a mesma técnica para as demais tipologias florestais bem como em florestas plantadas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABLER, R.; ADANS J.S.; GOULD, P. **Spatial Organization: The Geographer's View of the World**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1971.

ANSELIN, L.; GETIS, A. **Spatial statistical analysis and geographic information systems**. Berlim, Springer Verlag, 35-49, 1993.

ASSUNÇÃO, G.V., FORMAGGIO, A.R. **O Sensoriamento Remoto Na Agricultura: Conceitos Básicos, Metodologias E Aplicações**. São José dos Campos, INPE. 217 pág. 1989.

AYOADE, J.O. **Introdução para climatologia para os trópicos**. 5 ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 332p. 1998.

BATTY, M. **Using GIS in urban planning and policy making**. Berlin, Springer Verlag, 51-72, 1993.

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. **Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus ssp***. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: ESALQ/USP. Pág. 105-133. 2000.

CALDEIRA M.V.W.; RONDON NETO R. M.; SCHUMACHER M.V.; **Conteúdo e exportação de micronutrientes em acácia-negra (*Acacia Mearnsii* De Wild.) procedência batemans bay (Austrália)** .Rev. Árvore v.27 n.1 Viçosa jan./fev. 2003

CALDEIRA, M.V.W. **Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta Ombrófila mista Montana em General Carneiro, Paraná**. Tese de Doutorado em Ciências Florestais – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

CALDEIRA,M.V.W; NETO, RONDON NETO R. M; SHUMACHER, M.V. – **Eficiência do uso de micronutrientes e sódio em três procedências de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)**. Revista Árvore, Viçosa. MG, v.28, n.1,p. 39-47, 2004.

CAMPOS, M.A.A. **Balanço de Biomassa e Nutrientes em Povoamentos de *Ilex paraguariensis* – avaliação na safra e na safrinha**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal. UFPR. Curitiba, 1991.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades uso da madeira**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisas Florestais. Colombo: EMBRAPA-CNPf. Brasília: EMBRAPA-SPI, 640p.1994.

CAVASSIM JR., I.; CENTENO. J. **Classificação de uma imagem ikonos utilizando as técnicas “pixel a pixel” e a análise orientada a região** In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2003, Curitiba. PR. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, v.1. pág.1 a 15. 2003. 176p.

CEMEX E CONSERVATION INTERNATIONAL HOTSPOTS. **Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**. MITTERMEIER, R.; MYERS, N.; GIL, P.R.; MITTERMEIER, C.G. 430 P. 1999.

CFSEMG - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. Viçosa. MG: UFV, 359 p. 1999.

CHORLEY, R.; KENNEDY, B.A. **Physical Geography: a systems approach**. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 236 p.2002.

CURRAN, P.J. **Principles of Remote Sensing**; Longman Scientific & Technical: New York; 1995.

DEERING, D.W. et al.; **Measuring "forage production" of grazing units from Landsat-MSS data**. Proceeding of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of the Environment. ERIM, Ann Arbor, Michigan, USA, pág. 1169-1198. 1975.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – SNLCS. **Levantamentos de reconhecimento dos solos do estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA, SNLCS/SUDESUL/IAPAR, Tomo I e II. 791p. 1984.

FRANKLIN, S.E.; WULDER, M.A.; GERYLO, G.R. **Textura analysis of IKONOS panchromatic data for Douglas-fir forest age class separability in British Columbia**. International Journal of Remote Sensing, 13, 2627-2632. 2001.

FUPEF – FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ, MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **A Floresta com Araucária no Paraná – Conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Organizadores: CASTELLA, P.R.; BRITEZ, R.M. de. 236 p. Brasília-DF. 2004.

FUPEF – FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ. **Diagnóstico dos Remanescentes Florestais**. In: **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira**. PROBIO, Subprojeto Conservação do Bioma Floresta com Araucária. **Relatório Final**, V.I, 121pág. 2001.

GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; RODERJAN, C.V. **Levantamento fitossociológico das principais associações arbóreas da Floresta Nacional de Irati-PR**. Revista Floresta, p.30-49. 1999.

GANAS, A.; LAGIOS, E.; ZANNETOS, N. **An investigation on the spatial accuracy of the IKONOS 2 Orthoimagery within an urban environment**. International Journal of Remote Sensing, v. 23, n. 17, p. 3513-3519, 2002.

GATES, D.M. et al. **Spectral properties of plants**. Appl. Opt. 4:11-20. 1965.

GOLLEY, F.B. et al. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo: USP. 256 pág. 1978.

GUYOT, G. **Optical Properties of vegetation canopies – applications of Remote Sensing in Agriculture**. Ed. Butterworths. France. Pág 427. 1990.

HAGGET, P.; CHORLEY, R.J. – **Modelos, Paradigmas e a Nova Geografia**, in **Modelos físicos e de informação em Geografia**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1 – 19, 1975.

HOFFER, R.M. **Biological and Physical Considerations in Applying Computer-aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data**. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M., Ed. **Remote Sensing the Quantitative Approach**, New York: McGraw Hill, cap 5, pág. 89-228. 1978.

HOLBEN, B.N.; TUCKER, C.J.; FAN, C.J. **Assessing leaf area and biomass with spectral data**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.46, p.651-656, 1980.

HUETE, A.R. **A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**. *Remote Sensing of Environment*. New York, v. 25, n. 3, p. 295-309.1988.

HUGGET, R.T. **Modelling the Human Impact on Nature**. Oxford, Oxford University Press, 1993.

IBGE, **Manual Técnico da Vegetação Brasileira: Série Manuais Técnicos em Geociências n.º 1**. Rio de Janeiro: 1992.

IDRISI for windows — Manual do usuário. **Índices de vegetação Introdução ao sensoriamento remoto e processamento de imagens** – Centro de Recursos IDRISI Brasil.

IPGB - NTERNATIONAL PROGRAMME GEOSPHERE-BIOSPHERE – **Global Change: Reducing Uncertainties**. Estocolmo, 1992.

JAKERMAN, A.J.; BECK, M.B.; McALLER, M.J. - **Modelling Change in Environmental Systems**. Chichester, John Wiley & Sons, 1993.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing – A remote sensing perspective**. 2ª edition. New Jersey. USA. 318 pág. 1996.

KLEIN, R.M. **O aspecto dinâmico do pinheiro-brasileiro**. *Sellowia*, Itajaí, v. 12, n. 12. P. 17-48, 1960.

KRUMBEIN, W. C.; GRAIBYLL, F.A. **An Introduction to Statistical Models in Geology**. New York, McGraw Hill.1965.

LASTRA, O. et al. **Root uptake and partition of copperiron, manganese and zinc in *Pinus radiata* seedlings under different copper supplies**. *Plant Physiology*, v. 132, p. 16-22, 1988.

LAUTENSCHLAGER, L.F.; PERRY, C.R. **An empirical, graphical and analytical study of relationship between vegetation indices**. Lyndon. B. Johnson Space Center (eds.) (NASA), Houston, Texas, USA. 1981.

LEITE, P.F.; KLEIN, R.M. **Vegetação**. In: **IBGE: Geografia do Brasil; Região Sul**. Rio de Janeiro, 5 v., v.2. 419p. 1990.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation.**, 3ª ed. New York. 1994.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba, Livraria José Olympio. 450 pág. 1968.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado Paraná**, 2.ed., Curitiba, Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná. 450 pág. 1981.

MALAVOLTA, E. **Absorção e transporte de íons**. In: FERRI, M.G. (Coord.) Fisiologia Vegetal, São Paulo: EPU: Ed. Da Universidade de São Paulo. V. 1, p, 77-98. 350p. 1979.

MALAVOLTA, E. **Elementos da nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 251 pág. 1980.

MEDEIROS, J.S de. **Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS LANDSAT**. Dissertação de mestrado em sensoriamento remoto, INPE. São José dos Campos – SP. 127 pág. 1986.

MENESES, P.R.; **Fundamentos de Radiometria Óptica Espectral - Entendendo o que é Radiometria**. Pág. 15 a 40 do Livro Sensoriamento Remoto – Reflectância dos alvos naturais. Organizadores: Paulo Roberto Meneses e José da Silva Madeira Neto. Editora UnB – Embrapa Cerrados Brasília, DF. 262 pág. 2001.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 3.ed. Bern: International Potash Institute, 655 pág. 1982.

MIYAZAWA, M. et al. **Análise química de tecidos vegetais**. In: Silva, F.C. (Ed). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, (Comunicação para transferência de tecnologia) pág. 171 – 223. 1999.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 1ª Edição. São José dos Campos. SP.. 250 pág. 2001.

NOVAES, A.G. **Modelos de planejamento urbano, regional e de transportes**. São Paulo, Edgard Blücher, 1982.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2. Ed. São Paulo: E. Blücher. 308 pág. 1995.

ODUM, E.P. **Fundamentals of Ecology**. Philadelphia, Sunders, 1971.

OKIDA, R.; LUIZ, S.; OLIVEIRA, C.G. **Avaliação da Precisão de Orto-Imagens IKONOS**. In: Anais XI SBSR, INPE. Belo Horizonte, Brasil. 05-10 abril . Pág 285-292. 2003.

PERSON, R.L.; MILLER, L.D. **Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie**. Pawnee National Grasslands, Colorado. Proceeding of the 8th International Symposium on Remote Sensing of the Environment II: 1355-1379. 1972.

POGGIANI F.; ZÁKIA M.J.B.; ALMEIDA A.F. de. **Recursos Florestais em Propriedades Agrícolas** – Ecologia das florestas plantadas e reflexos sobre os recursos naturais renováveis. 310 pág. 2004.

POGGIANI, F; SCHUMACHER, M.V. **Atmospheric inputs compared with nutrient removed by harvesting from *Eucalyptus* plantation: implications for sustainability** In:

IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, Salvador, 1997. Anais. Colombo: EMBRAPA/CNPQ. V.4, p.68-74. 1997.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. **Ciclagem de nutrientes em florestas nativas**. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, pág. 288- 308. 2000.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. **Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto**. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.) Relação solo-eucalipto. Viçosa, MG: Ed. Folha de Viçosa, p. 265-301. 1990.

ROUSE, J. W.; HASS, R.W., SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C.. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFCT Type III Final Report, Greenbelt, MD, USA. 1974.

RUSSO, R.O. **Mediciones de biomassa em sistemas agroflorestales**. Turrialba: CATIE, 27p, 1983.

SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soils in the tropics**. John Wiley and Sons. New York. 409 pág. 1976.

SANQUETA, C.R. et al. **Dinâmica da estrutura horizontal de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Paraná**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Curitiba, v.3, n1, p1-15, janeiro 2001.

SANQUETA, C.R. **Inventário contínuo em floresta natural – Implantação de um sistema de monitoramento de crescimento e produção**. Industrias Pedro N. Pizzatto/FUPEF, 1998.

SANTOS, J.R. **Biomassa Aérea da Vegetação de Cerrado: Estimativas e Correlação com Dados do Sensor “THEMATIC MAPPER” do Satélite LANDSAT**. Curitiba: UFPR, Tese de Doutorado em Engenharia Florestal no setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. 156 pág.1988.

SAUR, E. **Mise au point bibliographique, au sujet de la nutrition oligo-minérale des plantes supérieures. Carences et toxicités chez lês conifères**. Annals Science Forest, v. 47, p. 367-389, 1990.

SCHULTZ, G.A.; ENGMAN, E.T.; (EDS.). **Remote Sensing in Hidrology and water management**. Edit. Engineering - Germany. 483 pág. 2000.

SCHUMACHER, M.V.; HOPPE, J.M. **A complexidade dos ecossistemas**. Porto Alegre: Palloti, 1997. 50p.

SCHUMACHER, M.V. **Naehrstoffkreislauf in Verschiedenen Bestaeden von *Eucalyptus saligns* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (maiden) und *Eucalyptus globulus* (Labillardière) in Rio Grande do Sul, Brasilien**. Wien, Austria: Universität für Bodenkultur, 1995. 167f. Tese (Doutorado em Ecologia e Nutrição Florestal).

SILVA, H.D. **Modelos matemáticos para a estimativa da Biomassa e do conteúdo de nutrientes em Plantações de *Eucalyptus grandis* Hill (ex-Maiden) em diferentes idades**. Tese de doutorado em Ciências Florestais. UFPR. Curitiba. 101pág. 1996.

SOARES, B.F. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. Tese de Doutorado apresentado à USP. São Paulo, 1998.

STEYAERT, L.T.A. **Perspective on the State of Environmental simulation modeling.** New York, Oxford University Press,. p.16-29. 1993.

TEDESCO, A.; CENTENO, J.A.S. **Utilização de imagens Ikonos para estimativa de profundidades.** In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2003, Curitiba. PR. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. v.1. 2003.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: UFRG, Departamento de Solos/Faculdade de Agronomia, 174p. Boletim Técnico; 5.1995.

TOUTIN, T.; CHENG, P. **Demystification of IKONOS.** Earth Observation magazine, v. 9, n. 7, p. 17-21, 2000.

VALERIANO, D.M. **Interações da radiação solar com a vegetação.** São José dos Campos: INPE, 36 p. 1988.

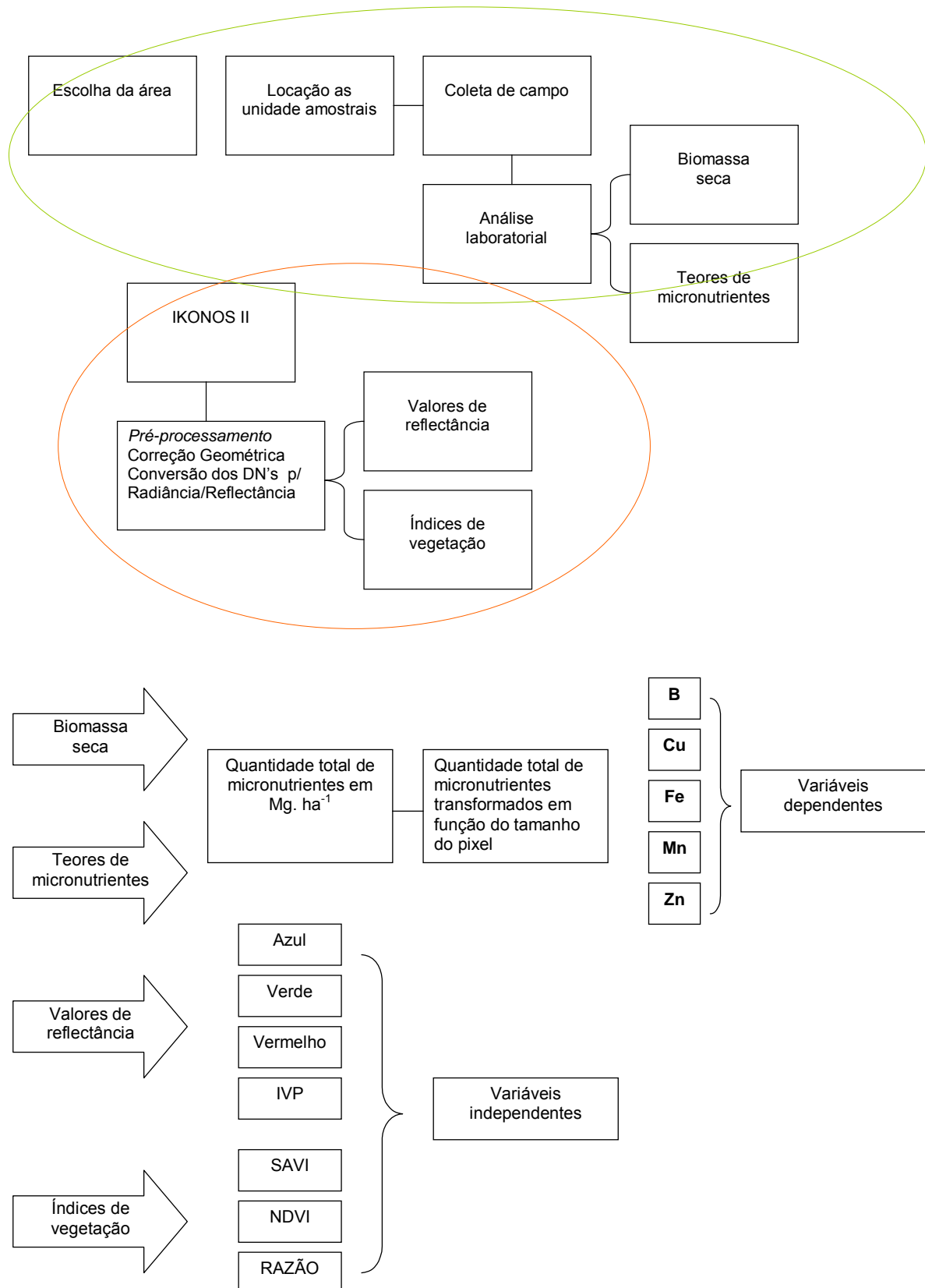
VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L. **Nutrient cycling in moist tropical forest.** Annual Review of Ecology and Systematics, Palo Alto, v. 17,p. 137-167, 1986.

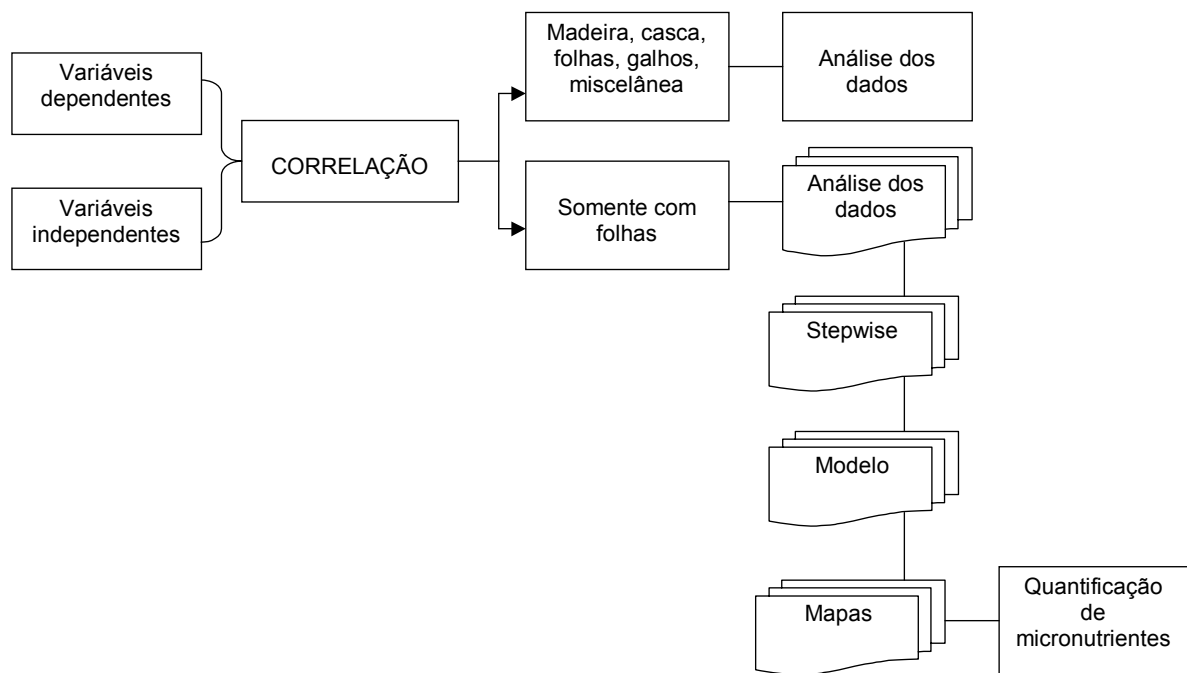
WATZLAWICK, L.F. **Análise e estimativa de biomassa e carbono em floresta Ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados de imagens do satélite IKONOS II.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2003.

YAMAJI, F.M. **Análise fractal de uma Floresta Ombrófila Mista através de imagens de satélite.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 85 pág. 2001.

ANEXO

1. FLUXOGRAMA DE TRABALHO





2. ANÁLISE DE REGRESSÃO E STEPWISE DOS MICRONUTRIENTES

DADOS REFLECTÂNCIA (FOLHAS) BORO

	BORO	BLUE	GREEN	RED	NIR	RAZAO	NDVI	SAVI
BORO	1	-0,412	-0,283	-0,397	-0,280	0,090	0,142	-0,205
BLUE	-0,412	1	0,868	0,765	-0,127	-0,688	-0,736	-0,303
GREEN	-0,283	0,868	1	0,668	-0,062	-0,575	-0,590	-0,217
RED	-0,397	0,765	0,668	1	0,102	-0,760	-0,747	-0,115
NIR	-0,280	-0,127	-0,062	0,102	1	0,5571	0,575	0,975
RAZAO	0,090	-0,688	-0,575	-0,760	0,557	1	0,983	0,722
NDVI	0,142	-0,736	-0,590	-0,747	0,575	0,983	1	0,739
SAVI	-0,205	-0,302	-0,216	-0,115	0,975	0,721	0,739	1

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,741
R-Quadrado	0,550
R-quadrado ajustado	0,287
Erro padrão	0,189
Observações	20

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	7	0,526	0,075	2,095	0,124
Resíduo	12	0,431	0,035		
Total	19	0,958			

	<i>Coef.</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	15,128	18,098	0,835	0,419	-24,303	54,560	-24,303	54,561
BLUE	-42,477	39,980	-1,062	0,308	-129,587	44,633	-129,587	44,633
GREEN	16,900	24,476	0,690	0,503	-36,428	70,229	-36,428	70,229
RED	-279,048	175,202	-1,592	0,137	-660,782	102,685	-660,782	102,685
NIR	43,618	35,213	1,238	0,239	-33,104	120,341	-33,104	120,341
RAZAO	-0,393	0,231	-1,700	0,114	-0,898	0,110	-0,898	0,111
NDVI	-7,578	25,787	-0,293	0,773	-63,764	48,608	-63,764	48,608
SAVI	-19,083	37,370	-0,510	0,618	-100,506	62,340	-100,506	62,340

RESUMO DOS RESULTADO

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,680
R-Quadrado	0,462
R-quadrado ajustado	0,362
Erro padrão	0,179
Observações	20

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	3	0,443	0,147	4,596	0,016
Resíduo	16	0,514	0,032		
Total	19	0,958			

	Coef.	Erro padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	6,634	2,030	3,267	0,004	2,329	10,940	2,329	10,940
RED	-229,155	77,195	-2,968	0,009	-392,801	-65,508	-392,801	-65,50
NIR	16,794	6,907	2,431	0,027	2,151	31,438	2,151	31,438
RAZAO	-0,472	0,174	-2,711	0,015	-0,841	-0,103	-0,841	-0,103

ANÁLISE DE REGRESSÃO - STEPWISE

DADOS DE REFLECTÂNCIA (FOLHAS) - COBRE

	COBRE	BLUE	GREEN	RED	NIR	RAZAO	NDVI	SAVI
COBRE	1	-0,559	0,868	0,765	-0,127	-0,688	-0,7363	-0,302
BLUE	-0,559	1	0,868	0,765	-0,127	-0,688	-0,736	-0,302
GREEN	-0,446	0,868	1	0,668	-0,062	-0,575	-0,590	-0,216
RED	-0,436	0,765	0,668	1	0,102	-0,760	-0,747	-0,115
NIR	-0,342	-0,127	-0,062	0,102	1	0,557	0,575	0,975
RAZAO	0,107	-0,688	-0,575	-0,760	0,557	1	0,983	0,721
NDVI	0,143	-0,736	-0,590	-0,747	0,575	0,983	1	0,739
SAVI	-0,249	-0,302	-0,216	-0,115	0,975	0,721	0,739	1

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,755896
R-Quadrado	0,571379
R-quadrado ajustado	0,32135
Erro padrão	0,029402
Observações	20

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	7	0,013	0,001	2,285	0,099
Resíduo	12	0,010	0,000		
Total	19	0,024			

	Coef.	Erro padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	1,130	2,807	0,402	0,694	-4,986	7,246	-4,986	7,246
BLUE	-10,739	6,201	-1,731	0,108	-24,252	2,773	-24,252	2,773
GREEN	1,725	3,796	0,454	0,657	-6,547	9,997	-6,547	9,997
RED	-11,998	27,177	-0,441	0,666	-71,213	47,216	-71,213	47,216
NIR	4,764	5,462	0,872	0,400	-7,136	16,665	-7,136	16,665
RAZAO	-0,009	0,035	-0,262	0,797	-0,087	0,068	-0,087	0,068
NDVI	-0,188	4,000	-0,047	0,963	-8,904	8,527	-8,904	8,527
SAVI	-3,569	5,796	-0,615	0,549	-16,200	9,060	-16,200	9,060

RESUMO DOS RESULTADOS - FINAL

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,711426
R-Quadrado	0,506127
R-quadrado ajustado	0,448025
Erro padrão	0,026517
Observações	20

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	0,01225	0,006125	8,710909	0,002487
Resíduo	17	0,011953	0,000703		
Total	19	0,024203			

	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,364	0,079	4,590	0,000	0,196	0,531	0,196	0,531
BLUE	-7,069	1,809	-3,907	0,001	-10,886	-3,252	-10,886	-3,252
SAVI	-0,366	0,141	-2,581	0,019	-0,665	-0,066	-0,665	-0,066

ANÁLISE DE REGRESSÃO - STEPWISE

DADOS DE REFLECTÂNCIA (FOLHAS) – MANGANÊS

	MANGANÊS	BLUE	GREEN	RED	NIR	RAZAO	NDVI	SAVI
MANGANÊS	1	-0,586	-0,392	-0,382	-0,235	0,132	0,166	-0,155
BLUE	-0,586	1	0,868	0,765	-0,127	-0,688	-0,736	-0,309
GREEN	-0,392	0,868	1	0,668	-0,062	-0,575	-0,590	-0,216
RED	-0,382	0,765	0,668	1	0,102	-0,760	-0,747	-0,115
NIR	-0,235	-0,127	-0,062	0,102	1	0,557	0,575	0,975
RAZAO	0,132	-0,688	-0,575	-0,760	0,557	1	0,983	0,721
NDVI	0,166	-0,736	-0,590	-0,747	0,575	0,983	1	0,739
SAVI	-0,155	-0,302	-0,216	-0,115	0,975	0,721	0,739	1

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,810545
R-Quadrado	0,656983
R-quadrado ajustado	0,456889
Erro padrão	3,261928
Observações	20

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	7	244,55	34,93571	3,283377	0,03424204
Resíduo	12	127,6821	10,64018		
Total	19	372,2321			

	<i>Coef.</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	435,856	311,456	1,399	0,187	-242,749	1114,462	-242,749	1114,463
BLUE	-2312,49	688,041	-3,360	0,005	-3811,607	-813,380	-3811,607	-813,38
GREEN	773,578	421,222	1,836	0,091	-144,186	1691,343	-144,186	1691,343
RED	-3384,73	3015,12	-1,122	0,283	-9954,125	3184,666	-9954,125	3184,667
NIR	328,961	605,998	0,542	0,597	-991,394	1649,317	-991,394	1649,318
RAZAO	-1,649	3,985	-0,413	0,686	-10,334	7,034	-10,334	7,034
NDVI	-466,964	443,790	-1,052	0,313	-1433,900	499,972	-1433,900	499,972
SAVI	-22,083	643,122	-0,034	0,973	-1423,327	1379,159	-1423,327	1379,159

RESUMO DOS RESULTADOS - FINAL

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo					0,76456
R-Quadrado					0,584552
R-quadrado ajustado					0,506655
Erro padrão					3,10889
Observações					20
ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	3	217,589	72,52967	7,504212	0,002352
Resíduo	16	154,6431	9,665194		
Total	19	372,2321			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	97,954	31,177	3,141	0,006	31,861	164,047	31,861	164,047
BLUE	-1989,46	492,436	-4,040	0,000	-3033,38	-945,54	-3033,38	-945,54
GREEN	569,766	309,748	1,839	0,084	-86,870	1226,404	-86,870	1226,404
NDVI	-88,230	33,008	-2,673	0,016	-158,205	-18,256	-158,205	-18,256

ANÁLISE DE REGRESSÃO - STEPWISE

DADOS DE REFLECTÂNCIA (FOLHAS) - FERRO

	FERRO	BLUE	GREEN	RED	NIR	RAZAO	NDVI	SAVI
FERRO	1	-0,516	-0,332	-0,331	-0,295	0,042	0,094	-0,224
BLUE	-0,516	1	0,868	0,765	-0,127	-0,688	-0,736	-0,302
GREEN	-0,332	0,868	1	0,668	-0,062	-0,575	-0,590	-0,216
RED	-0,331	0,765	0,668	1	0,102	-0,760	-0,747	-0,115
NIR	-0,295	-0,127	-0,062	0,102	1	0,557	0,575	0,975
RAZAO	0,042	-0,688	-0,575	-0,760	0,557	1	0,983	0,721
NDVI	0,094	-0,736	-0,590	-0,747	0,575	0,983	1	0,739
SAVI	-0,224	-0,302	-0,216	-0,115	0,975	0,721	0,739	1

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo					0,769808
R-Quadrado					0,592604
R-quadrado ajustado					0,354957
Erro padrão					0,792863
Observações					20
ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	7	10,97301	1,567573	2,4936271	0,07877026
Resíduo	12	7,543578	0,628632		
Total	19	18,51659			

	Coef.	Erro padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	72,000	75,704	0,951	0,360	-92,945	236,946	-92,945	236,946
BLUE	-434,174	167,239	-2,596	0,023	-798,557	-69,7918	-798,557	-69,792
GREEN	147,431	102,384	1,439	0,175	-75,645	370,508	-75,645	370,508
RED	-703,476	732,873	-0,959	0,356	-2300,271	893,318	-2300,271	893,318
NIR	74,497	147,297	0,505	0,622	-246,43	395,430	-246,435	395,431
RAZAO	-0,741	0,968	-0,765	0,458	-2,852	1,369	-2,852	1,369
NDVI	-66,419	107,870	-0,615	0,549	-301,448	168,609	-301,448	168,609
SAVI	-13,278	156,321	-0,084	0,933	-353,872	327,315	-353,872	327,315

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,731146
R-Quadrado	0,534575
R-quadrado ajustado	0,447307
Erro padrão	0,733915
Observações	20

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	3	9,898495	3,299498	6,125715	0,005624
Resíduo	16	8,618091	0,538631		
Total	19	18,51659			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	Valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	23,323	7,360	3,168	0,005	7,720	38,925	7,720	38,925
BLUE	-435,285	116,249	-3,744	0,001	-681,722	-188,848	-681,722	-188,848
GREEN	128,370	73,122	1,755	0,098	-26,642	283,382	-26,642	283,382
NDVI	-21,116	7,792	-2,709	0,015	-37,635	-4,597	-37,635	-4,597

ANÁLISE DE REGRESSÃO - STEPWISE

DADOS DE REFLECTÂNCIA (FOLHAS) – ZINCO

	ZINCO	BLUE	GREEN	RED	NIR	RAZAO	NDVI	SAVI
ZINCO	1	-0,49	-0,326	-0,446	-0,336	0,115	0,146	-0,242
BLUE	-0,492	1	0,868	0,765	-0,127	-0,688	-0,736	-0,302
GREEN	-0,326	0,868	1	0,668	-0,062	-0,575	-0,590	-0,216
RED	-0,446	0,765	0,668	1	0,102	-0,760	-0,747	-0,115
NIR	-0,336	-0,127	-0,062	0,102	1	0,557	0,575	0,975
RAZAO	0,115	-0,688	-0,575	-0,760	0,557	1	0,983	0,721
NDVI	0,146	-0,736	-0,590	-0,747	0,575	0,983	1	0,739
SAVI	-0,242	-0,302	-0,216	-0,115	0,975	0,721	0,739	1

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,768069
R-Quadrado	0,58993
R-quadrado ajustado	0,350723
Erro padrão	0,075238
Observações	20

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	7	0,097725	0,013961	2,4661882	0,08122313
Resíduo	12	0,06793	0,005661		
Total	19	0,165654			

	<i>Coef.</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	12,547	7,183	1,746	0,106	-3,104	28,200	-3,104	28,200
BLUE	-37,912	15,870	-2,388	0,034	-72,490	-3,334	-72,490	-3,334
GREEN	17,679	9,715	1,819	0,093	-3,489	38,848	-3,489	38,848
RED	-127,041	69,545	-1,826	0,092	-278,568	24,486	-278,568	24,486
NIR	-1,009	13,977	-0,072	0,943	-31,464	29,445	-31,464	29,445
RAZAO	-0,125	0,091	-1,362	0,198	-0,325	0,075	-0,325	0,075
NDVI	-14,684	10,236	-1,434	0,176	-36,987	7,618	-36,987	7,618
SAVI	10,351	14,83402	0,697	0,498	-21,968	42,672	-21,968	42,672

RESUMO DOS RESULTADOS SOMENTE COM O AZUL

Estatística de regressão

R múltiplo	0,492159
R-Quadrado	0,24222
R-quadrado ajustado	0,200121
Erro padrão	0,08351
Observações	20

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	0,040125	0,040125	5,753601	0,027502
Resíduo	18	0,12553	0,006974		
Total	19	0,165654			

	<i>Coef.</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>Valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,405	0,103	3,935	0,000	0,189	0,622	0,189	0,622
BLUE	-13,023	5,429	-2,398	0,027	-24,430	-1,616	-24,430	-1,616